# MOTORES E GERADORES

---

**PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE GRUPOS DIESEL GERADORES**

---

## 1 – MOTORES DIESEL

São máquinas térmicas alternativas, de combustão interna, destinadas ao suprimento de energia mecânica ou força motriz de acionamento. O nome é devido a *Rudolf Diesel*, engenheiro francês nascido em Paris, que desenvolveu o primeiro motor em Augsburg - Alemanha, no período de 1893 a 1898. Oficialmente, o primeiro teste bem sucedido foi realizado no dia 17 de fevereiro de 1897, na *Maschinenfabrik Augsburg.*

Segundo sua aplicação, são classificados em 4 tipos básicos:

### ESTACIONÁRIOS

Destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como Geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;

### INDUSTRIAIS

Destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;

### VEICULARES

Destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões e ônibus;

### MARÍTIMOS

Destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval.

Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso. (Laser, trabalho comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo)

Além dos segmentos de aplicações, os motores Diesel podem ser classificados pelo tipo de sistema de arrefecimento que utilizam, normalmente a água ou a ar e pelo número e disposição dos cilindros, que normalmente são dispostos em linha, quando os cilindros se encontram em uma única fileira, ou em V, quando os cilindros são dispostos em fileiras oblíquas.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo as mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes.

Os sistemas que constituem os motores Diesel são:

- **Sistema de Admissão de ar;**
- **Sistema de Combustível, aí se incluindo os componentes de injeção de óleo Diesel;**
- **Sistema de Lubrificação;**
- **Sistema de Arrefecimento;**
- **Sistema de Exaustão ou escapamento dos gases;**
- **Sistema de Partida;**

O motor, propriamente dito, é composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos acionados, como, por exemplo, um gerador de corrente alternada, que denominamos ALTERNADOR. Este mecanismo se subdivide nos seguintes componentes principais:

## a) - Bloco de cilindros

Onde se alojam os conjuntos de cilindros, compostos pelos pistões com anéis de segmento, camisas, bielas, árvores de manivelas e de comando de válvulas, com seus mancais e buchas. Na grande maioria dos motores, construído em ferro fundido e usinado para receber a montagem dos componentes. Grandes motores navais tem bloco construído em chapas de aço soldadas e alguns motores de pequeno porte têm bloco de liga de alumínio.

## b) - Cabeçotes

Funcionam, essencialmente, como "tampões" para os cilindros e acomodam os mecanismos das válvulas de admissão e escape, bicos injetores e canais de circulação do líquido de arrefecimento. Dependendo do tipo de construção do motor, os cabeçotes podem ser individuais, quando existe um para cada cilindro, ou múltiplos, quando um mesmo cabeçote cobre mais de um cilindro.

## c) - Cárter

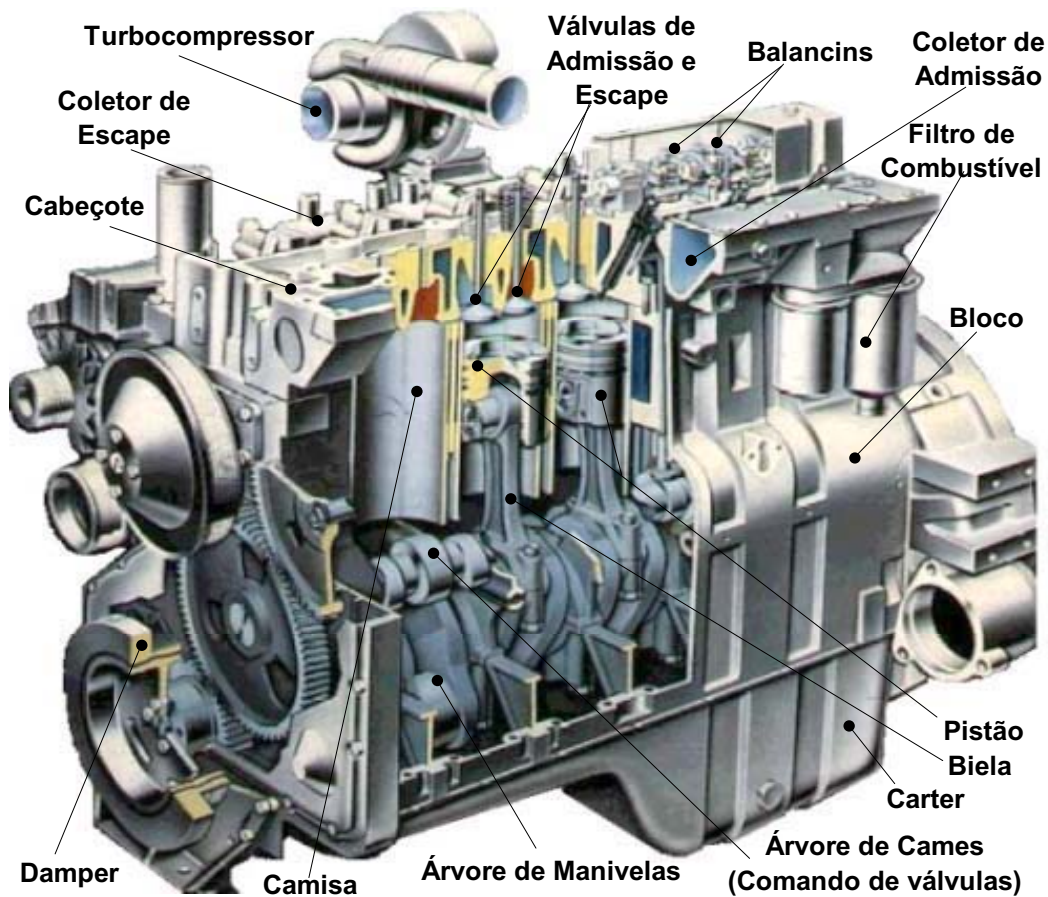
É o reservatório do óleo lubrificante utilizado pelo sistema de lubrificação. É construído em ferro fundido, liga de alumínio ou chapa de aço estampada. Em alguns motores o cárter é do tipo estrutural, formando com o bloco uma estrutura rígida que funciona como chassis da máquina, como se vê em alguns tratores agrícolas.

## d) - Seção dianteira

É a parte dianteira do bloco, onde se alojam as engrenagens de distribuição de movimentos para os acessórios externos, tais como bomba d'água, ventilador, alternador de carga das baterias e para sincronismo da bomba de combustível e da árvore de comando de válvulas.

**e) - Seção traseira.**

Onde se encontram o volante e respectiva carcaça, para montagem do equipamento acionado.

Todos os cuidados de manutenção preventiva se concentram sobre os sistemas do motor. O mecanismo principal só recebe manutenção direta por ocasião das revisões gerais de recondicionamento ou reforma, quando é totalmente desmontado, ou se, eventualmente, necessitar de intervenção para manutenção corretiva, em decorrência de defeito ou acidente. Os componentes internos estão sujeitos a desgastes inevitáveis, porém sua durabilidade e performance dependem unicamente dos cuidados que forem dispensados aos sistemas.

**Motor Diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 visto em corte**

## 2 - PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Os motores de combustão interna, segundo o tipo de combustível que utilizam, são classificados em motores do ciclo Otto e motores do ciclo Diesel, nomes devidos aos seus descobridores.

Motores do ciclo Otto são aqueles que aspiram a mistura ar-combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão da mistura é provocada por centelha produzida numa vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás, ou metanol, que são utilizados, em geral, nos automóveis.

Motores do ciclo Diesel são aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por auto-ignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar,

na maioria dos motores do ciclo Diesel é o óleo Diesel comercial, porém outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo Diesel não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores segundo o processo Diesel, podem ser utilizados também carvão em pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível no processo Diesel, nos motores conhecidos como de *combustível misto* ou conversíveis, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

Para os combustíveis líquidos, as diferenças principais entre os motores do ciclo Otto e do Ciclo Diesel são:

| Motores de Combustão Interna a Pistão | | |
|---|---|---|
| **Característica** | **Ciclo Otto** | **Ciclo Diesel** |
| Tipo de Ignição | Por centelha (Vela de ignição) | Auto-ignição |
| Formação da mistura | No carburador | Injeção |
| Relação de Compressão | 6 até 8 : 1 | 16 até 20 : 1 |

(No motor Otto de injeção o combustível é injetado na válvula de admissão, ou diretamente na tomada de ar do cilindro antes do término da compressão).

## 2.1 - DEFINIÇÕES

A nomenclatura utilizada pelos fabricantes de motores, normalmente encontrada na documentação técnica relacionada, obedece a notação adotada pela norma DIN 1940. Existem normas americanas, derivadas das normas DIN, que adotam notações ligeiramente diferenciadas, porém com os mesmos significados.

| Notação | Nomenclatura | Definição |
|---|---|---|
| $D$ | DIÂMETRO DO CILINDRO | Diâmetro interno do Cilindro. |
| $s$ | CURSO DO PISTÃO | Distância percorrida pelo pistão entre os extremos do cilindro, definidos como Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI). |
| $s/D$ | CURSO/ DIÂMETRO | Relação entre o curso e o diâmetro do pistão. (Os motores cuja relação curso/diâmetro = 1 são denominados motores quadrados.) |
| $n$ | ROTAÇÃO | Número de revoluções por minuto da árvore de manivelas. |
| $c_m$ | VELOCIDADE | Velocidade média do Pistão = $2\,s\,n/60 = s\,n/30$ |
| $A$ | ÁREA DO PISTÃO | Superfície eficaz do Pistão = $\pi D^2/4$ |

| | | |
|---|---|---|
| $P_e$ | POTÊNCIA ÚTIL | É a potência útil gerada pelo motor, para sua operação e para seus equipamentos auxiliares (assim como bombas de combustível e de água, ventilador, compressor, etc.) |
| $z$ | NÚMERO DE CILINDROS | Quantidade de cilindros de dispõe o motor. |
| $V_h$ | VOLUME DO CILINDRO | Volume do cilindro = $As$ |
| $V_c$ | VOLUME DA CÂMARA | Volume da câmara de compressão. |
| $V$ | VOLUME DE COMBUSTÃO | Volume total de um cilindro = $V_h + V_c$ |
| $V_H$ | CILINDRADA TOTAL | Volume total de todos os cilindros do motor = $z\ V_h$ |
| $e$ | RELAÇÃO DE COMPRESSÃO | Também denominada de razão ou taxa de compressão, é a relação entre o volume total do cilindro, ao iniciar-se a compressão, e o volume no fim da compressão, constitui uma relação significativa para os diversos ciclos dos motores de combustão interna. Pode ser expressa por: $(V_h + V_c)/V_c$ . (é > 1). |
| $P_i$ | POTÊNCIA INDICADA | É a potência dentro dos cilindros. Abreviadamente denominada de **IHP** (Indicated Horsepower), consiste na soma das potências efetiva e de atrito nas mesmas condições de ensaio. |
| $P_l$ | POTÊNCIA DISSIPADA | Potência dissipada sob carga, inclusive engrenagens internas. |
| $P_{sp}$ | DISSIPAÇÃO | Dissipação de potência pela carga. |
| $P_r$ | CONSUMO DE POTÊNCIA | Consumo de potência por atrito, bem como do equipamento auxiliar para funcionamento do motor, à parte a carga. $P_r = P_i - P_e - P_l - P_{sp}$ |
| $P_v$ | POTÊNCIA TEÓRICA | Potência teórica, calculada por comparação, de máquina ideal. Hipóteses para este cálculo: ausência de gases residuais, queima completa, paredes isolantes, sem perdas hidrodinâmicas, gases reais. |
| $p_e$ | PRESSÃO MÉDIA EFETIVA | É a pressão hipotética constante que seria necessária no interior do cilindro, durante o curso de expansão, para desenvolver uma potência igual à potência no eixo. |
| $p_i$ | PRESSÃO MÉDIA NOMINAL | É a pressão hipotética constante que seria necessária no interior do cilindro, durante o curso de expansão, para desenvolver uma potência igual à potência nominal. |

| | | |
|---|---|---|
| $p_r$ | PRESSÃO MÉDIA DE ATRITO | É a pressão hipotética constante que seria necessária no interior do cilindro, durante o curso de expansão, para desenvolver uma potência igual à potência de atrito. |
| $B$ | CONSUMO | Consumo horário de combustível. |
| $b$ | CONSUMO ESPECÍFICO | Consumo específico de combustível = $B / P$; com o índice $e$, refere-se à potência efetiva e com o índice $i$ refere-se à potência nominal. |
| $\eta_m$ | RENDIMENTO MECÂNICO | É a razão entre a potência medida no eixo e a potência total desenvolvida pelo motor, ou seja: $\eta_m = e/P_i = P_e / (P_e + P_r)$ ou então, $\eta_m = P_e / (P_e + P_r + P_l + P_{sp})$. |
| $\eta_e$ | RENDIMENTO ÚTIL | Ou rendimento econômico é o produto do rendimento nominal pelo rendimento mecânico = $\eta_i . \eta_m$ |
| $\eta_i$ | RENDIMENTO INDICADO | É o rendimento nominal. Relação entre a potência indicada e a potência total desenvolvida pelo motor. |
| $\eta_v$ | RENDIMENTO TEÓRICO | É o rendimento calculado do motor ideal. |
| $\eta_g$ | EFICIÊNCIA | É a relação entre os rendimentos nominal e teórico; $\eta_g = \eta_i / \eta_v$. |
| $\lambda_l$ | RENDIMENTO VOLUMÉTRICO | É a relação entre as massas de ar efetivamente aspirada e a teórica. |

## 2.2 - MOTOR DE QUATRO TEMPOS

Um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

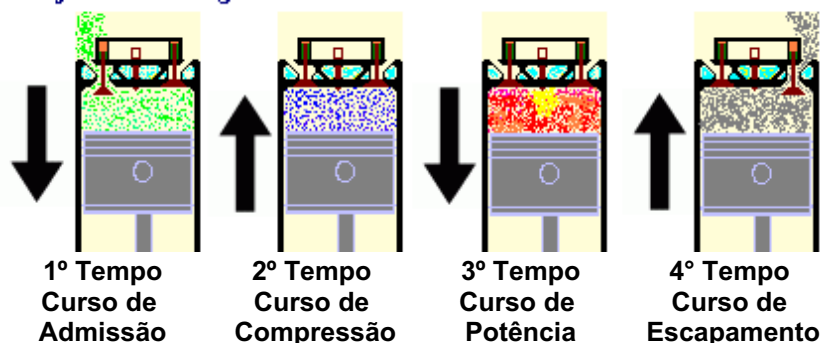
No *primeiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, dá-se a admissão, que se verifica, na maioria dos casos, por aspiração automática da mistura ar-combustível (nos motores Otto), ou apenas ar (motor Diesel). Na maioria dos motores Diesel modernos, uma ventoinha empurra a carga de ar para o cilindro (turbocompressão).

No *segundo tempo*, ocorre a compressão, com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes de o pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado (no motor Otto), ou a auto-ignição (no motor Diesel).

No *Terceiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, temos a ignição, com a expansão dos gases e transferência de energia ao pistão (tempo motor).

No *quarto tempo*, o pistão em movimento ascendente, empurra os gases de escape para a atmosfera.

Durante os quatro tempos – ou duas rotações – transmitiu-se trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escapamento funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de comando de válvulas

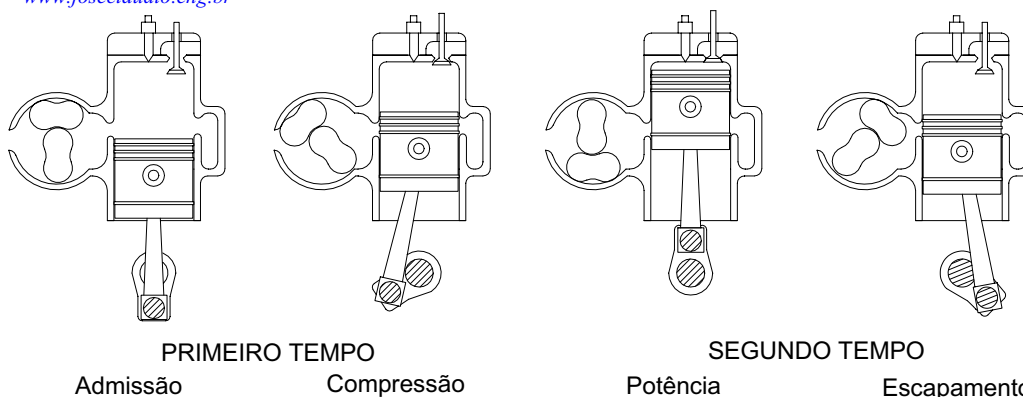
(ou eixo de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.

## 2.3 - MOTOR DE DOIS TEMPOS

O ciclo motor abrange apenas uma rotação da árvore de manivelas, ou seja, dois cursos do pistão. A exaustão e a admissão não se verificam e são substituídas por:

1 – Pela expansão dos gases residuais, através da abertura da válvula de escape, ao fim do curso do pistão;

2 – Substituição da exaustão pelo percurso com ar pouco comprimido. Os gases são expulsos pela ação da pressão própria.;

3 – Depois do fechamento da válvula, o ar que ainda permanece no cilindro, servirá à combustão (a exaustão também pode ser feita por válvulas adicionais);

4 – O curso motor é reduzido. O gás de exaustão que permanece na câmara, é misturado com o ar admitido; nos motores de carburação (só usados em máquinas pequenas), o gás de exaustão já apresenta a mistura em forma de neblina.

**Vantagens:** O motor de dois tempos, com o mesmo dimensionamento e rpm, dá uma maior potência que o motor de quatro tempos e o torque é mais uniforme.

Faltam os órgãos de distribuição dos cilindros, substituídos pelos pistões, combinados com as fendas de escape e combustão, assim como as de carga.

**Desvantagens***:* Além das bombas especiais de exaustão e de carga, com menor poder calorífico e consumo de combustível relativamente elevado; carga calorífica consideravelmente mais elevada que num motor de quatro tempos, de igual dimensionamento.

## 2.4 – TEORIA DO MOTOR

O motor tem sua capacidade definida em termos de potência, em HP (Horsepower) ou CV (Cavalo Vapor). É a indicação da quantidade de trabalho que ele é capaz de realizar na unidade de tempo.

Por definição, 1 HP é a potência necessária para elevar a altura de um pé, em um segundo, uma carga de 550 libras e 1 CV é a potência necessária para elevar a altura de um metro, em um segundo, uma carga de 75 quilogramas. Ou seja: 1 HP = 550 lb-ft/seg e 1 CV = 75 kgm/seg. Se a unidade de tempo utilizada for o minuto, multiplicamos 550 x 60 e temos 1 HP = 33.000 lb-ft/min e 1 CV = 75 x 60 = 4.500 kgm/min.

### 2.4.1 – DEFINIÇÕES DE POTÊNCIAS

Embora existam normas brasileiras que definam o desempenho e as potências dos motores Diesel, as fábricas existentes no Brasil adotam as normas dos seus países de origem. Assim, Scania, Mercedes, MWM, Volvo e outras de origem européia, adotam as normas DIN 6270 e 6271 para as definições de potências dos motores que fabricam, enquanto as de origem americana, tais como Caterpillar, Cummins, General Motors e outras, adotam as normas ISO8528, 3046, AS2789 e SAE BS5514. As normas brasileiras que tratam dos motores são: a) – MB-749 (NBR 06396) = Motores alternativos de combustão interna não veiculares e b) – NB-130 (NBR 05477) = Apresentação do desempenho de motores de combustão interna, alternativos, de ignição por compressão (Diesel).

De acordo com a nomenclatura brasileira (NBR 06396):

- **Potência efetiva contínua não limitada:**

  (correspondente a DIN 6270-A) é a maior potência efetiva garantida pelo fabricante, que será fornecida sob regime de velocidade, conforme sua aplicação durante 24 horas diárias sem sofrer desgaste anormal e perda de desempenho. A ajustagem dessa potência no motor permite ainda uma sobrecarga. *Esta é a ajustagem recomendada para grupos geradores*. A quantidade de injeção do combustível é bloqueada na bomba injetora para que uma sobrecarga (em geral 10% da potência efetiva contínua) do motor Diesel esteja disponível para a aceleração, tal como requerido em caso de aplicação súbita de plena carga elétrica.

- **Potência efetiva contínua limitada:**

  (correspondente a DIN 6270-B) é a maior potência efetiva garantida pelo fabricante, e que será fornecida, sob regime de velocidade angular, especificado conforme sua aplicação, continuamente, durante um tempo limitado, ou intermitentemente, sob indicação do fabricante, sem sofrer desgaste anormal e perda de desempenho. A ajustagem dessa potência no motor não permite uma sobrecarga.

  Como esta potência, para ligação de plena carga do consumidor, não possui reserva suficiente para o processo de recuperação do governador de rpm, em princípio ela não deveria ser utilizada para grupos geradores. Caso contrário, grandes quedas de velocidade em que, em casos extremos, a velocidade normal não mais possa ser alcançada, tem que ser previstas para o caso de uma aplicação súbita da carga no limite de potência, por exemplo, devido a altas correntes de partida de motores elétricos.

As potências acima definidas serão consideradas potências úteis se todos os dispositivos auxiliares necessários à operação do motor (por exemplo: bomba injetora, ventilador e bomba d’água) estiverem sendo acionados pelo próprio motor.

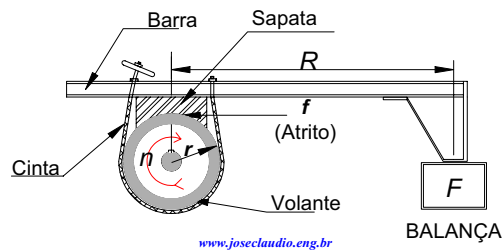
A norma brasileira NBR 06396 não somente estabelece os conceitos de potência e consumo de motores de combustão interna, mas indica também como as potências e os consumos de combustíveis devem ser convertidos para condições atmosféricas particulares. As normas DIN e ABNT tomam como padrão as mesmas condições atmosféricas, isto é, uma pressão barométrica de 76 mm Hg (equivalente a uma altitude de cerca de 270 m acima do nível do mar), temperatura ambiente de 20°C e umidade relativa do ar de 60%.

Há, entretanto, uma diferença fundamental, entre as normas DIN e ABNT, que é necessário ressalvar: a definição dos acessórios que devem ser acionados pelo motor (e cujo consumo de potência não deve ser calculado como potência efetiva do motor) difere de uma norma para a outra. A norma ABNT é mais rigorosa e prevê que, por exemplo, as potências de acionamento da bomba centrífuga e do ventilador deverão ser descontadas ao definir a potência de um motor industrial, normalmente equipado com estes acessórios.

As normas americanas estabelecem as condições atmosféricas padrão de acordo com a ISO3046 em 29,61 in Hg de pressão barométrica, equivalente a uma altitude de 300 ft acima do nível do mar e adotam o mesmo conceito de sobrecarga de 10%, como nas normas DIN. Para os motores Diesel estacionários destinados a aplicação em grupos geradores, estabelecem regimes de operação considerando fatores de carga e definem três regimes de trabalho: *Stand-by*, *Prime Power* e *Continuous*. O regime Stand-by é o que definimos como *emergência* e é estabelecido sobre a *potência efetiva contínua limitada*; o regime Prime Power é o que chamamos de contínuo e é estabelecido sobre a *potência efetiva contínua não limitada* e o Continuous é um regime definido como sendo uma potência em que o motor pode operar 24 horas por dia com carga constante.

Embora as normas recomendem o contrário, todos os montadores de grupos geradores especificam seus produtos pela potência intermitente ou de emergência (potência efetiva contínua limitada). Se o usuário pretender adquirir um grupo gerador, deve conhecer bem suas necessidades e especificar de forma clara o regime de operação. Na maioria dos casos, os grupos geradores são de emergência, porém, quando solicitados a operar, na ausência do suprimento de energia da rede elétrica local, devem atender os consumidores pelo tempo que for necessário, suprindo a energia que for exigida. A potência que definimos como *efetiva contínua não limitada,* permite um regime de trabalho com possibilidade de sobrecarga de 10% durante uma hora em cada 12 horas de operação, enquanto a potência *efetiva contínua limitada* não admite sobrecargas.

Para medir a potência do motor, utiliza-se o DINAMÔMETRO.

O dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje, para medir a potência do motor é constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apóia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Este dispositivo é conhecido como FREIO DE PRONY, nome devido ao seu inventor, Gaspard Clair Francois Marie Riche De Prony (1755—1839). Embora atualmente existam equipamentos sofisticados, o princípio de determinação de potência ao freio se mantém e os dinamômetros modernos são construídos com o objetivo de opor uma resistência controlada e medida ao movimento de rotação da árvore de manivelas. O freio de PRONY ainda é utilizado atualmente para determinação da potência de pequenos motores elétricos.

A determinação da potência do motor se faz considerando:

Rotação do motor = ***n*** (em rpm)
Comprimento do braço = ***R*** (em m ou ft)
Leitura da balança = ***F*** (em lb ou Kg)

Com os elementos acima, sabendo-se que a periferia do volante percorre, no intervalo de uma rotação, a distância $2\pi r$ contra a força de atrito ***f***, aplicada pela cinta, então, em cada rotação, tem-se:

$$Trabalho = 2\,\pi\, r\, f.$$

O conjugado resistente ao atrito é formado pelo produto da leitura ***F*** da balança pelo valor do comprimento do braço de alavanca ***R*** e será exatamente igual ao produto ***r*** vezes ***f***, conjugado que tende a mover o braço. Logo:

$rf = FR$ e, em uma rotação, $Trabalho = 2\,\pi\, F\, R$.

O produto ***FR*** é também conhecido como ***TORQUE*** do motor.

Se o motor funcionar a ***n*** rpm, o Trabalho por minuto será dado por: $\tau = 2\,\pi\, F\, R\, n$.

A expressão acima define a potência desenvolvida pelo motor, que pode ser expressa em HP (Horsepower) ou em CV (Cavalo-vapor), dependendo das unidades empregadas. Assim:

$$P_{(HP)} = \frac{2\pi FRn}{33.000} \Rightarrow P_{(HP)} = \frac{FRn}{5252}$$ Para ***F*** em libras, ***R*** em pés e ***n*** em rpm, ou:

$$P_{(CV)} = \frac{2\pi FRn}{4.500} \Rightarrow P_{(CV)} = \frac{FRn}{716,2}$$ Para ***F*** em Kg, ***R*** em metros e ***n*** em rpm.

Como ***FR = Torque,*** podemos ainda, adotar outras variantes para as fórmulas acima considerando as unidades envolvidas:

$$Potência\ (HP) = \frac{Torque\ (ft.lb) \times Rotação\ (rpm)}{5252}$$

$$Potência(kW) = \frac{Torque(kgm) \times Rotação(rpm)}{974}$$

$$Potência\ (kW) = \frac{Torque\ (Nm) \times Rotação\ (rpm)}{9550}$$

1 KW = 1,341 HP e, inversamente, 1 HP = 0,746 kW

A potência medida como acima resulta da expansão dos gases de combustão no interior dos cilindros do motor, que impulsiona o pistão fazendo girar a árvore de manivelas contra a resistência oposta pelo freio. Portanto, resulta da pressão exercida sobre a superfície da cabeça do pistão. Essa pressão (no motor Diesel), é constante na primeira parte do tempo motor mais se reduz ao longo da segunda parte do curso de potência, dado que há uma variação de volume com o deslocamento do pistão. Por essa razão, considera-se para efeito de estudo a pressão média efetiva, como definida no item 2.1, para os cálculos como veremos a seguir.

O diagrama *P – V* (pressão x volume) do ciclo Diesel ideal mostrado abaixo nos dá uma visão das transformações que ocorrem durante um ciclo de trabalho do motor Diesel.

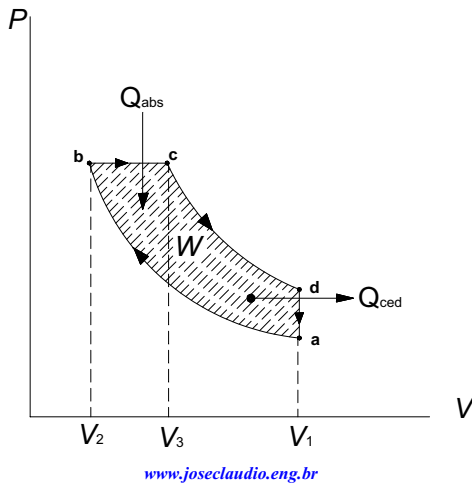



**Diagrama P – V do ciclo Diesel ideal.**

Partindo do ponto ***a***, o ar é comprimido adiabaticamente (sem troca de calor) até ***b***, aquecido à pressão constante até ***c***, expandido adiabaticamente até ***d*** e novamente resfriado, a volume constante, até ***a***.

O trabalho obtido é a área hachurada, com limites ***abcd***. O calor absorvido é fornecido a pressão constante, ao longo da linha ***bc*** e o cedido, o que se remove durante ***da***. Não há troca de calor nas transformações adiabáticas ***ab*** e ***cd***.

Das definições do item 2.1, temos que:

$p_e$ = Pressão média efetiva em psi (libra/in²) ou em kg/cm²;

$A$ = Área da cabeça do pistão em in² ou cm²;

$s$ = Curso do pistão em pol. ou cm;

$z$ = Número de cilindros do motor;

$n$ = Número de revoluções por minuto (rpm) e

$V_H$ = Cilindrada total do motor em in³ ou cm³.

Consideremos $x$ = Número de rotações por cilindro, entre dois cursos de expansão. (Para motores de quatro tempos, $x$ = 2). A relação $n/x$ será o número de vezes por minuto que ocorre um curso de potência ou tempo motor em cada cilindro;

Sabendo-se que: $$Potência = \frac{Trabalho}{Tempo}$$

e que ***Trabalho = Força* x *deslocamento*** ➔ ***Força*** = $p_e$ **x** $A$ e ***deslocamento*** = $s$

podemos escrever: ***Potência*** = $p_e \times A \times s \times z \times (n/x)$ (em unidades homogêneas).

Como $V_H = A \times s \times z$, resulta ***Potência*** = $p_e \times V_H \times (n/x)$, donde concluímos que :

$$p_e = \frac{(Potência) \times x}{V_H \times n}$$

O termo ***(Potência)*** na fórmula acima será $P_e$ quando a pressão considerada for $p_e$ e, analogamente, $P_i$ quando se tratar de $p_i$ e $P_r$ para $p_r$.

A pressão média efetiva é uma variável muito expressiva no julgamento da eficácia com que um motor tira proveito do seu tamanho (Cilindrada), sendo, por isso, muito usada para fins de comparação entre motores. O torque, por exemplo, não se presta muito para comparar motores porque depende das dimensões do motor. Os motores maiores produzirão maiores torques. A potência, também, não é um bom elemento para permitir a comparação de motores, pois depende, não somente das dimensões, mas também da velocidade de rotação. Assim, num projeto tem-se sempre em mente construir motor de pressão média efetiva elevada.

Para obter os valores de $p_e$ em lb/in$^2$ ou kg/cm$^2$ para motores de 4 tempos quando são conhecidos $P_e$ em BHP, $n$ em rpm e $V_H$ em cm$^3$ ou in$^3$, são válidas as relações:

$$p_e = \frac{P_e \times 2 \times 12 \times 33.000}{V_H \times n} \Rightarrow p_e = \frac{792000 \times P_e}{V_H \times n}(lb/in^2)$$

Para $P_e$ em HP, $V_H$ em in³ e $n$ em rpm, ou então:

$$p_e = \frac{900000 \times P_e}{V_H \times n}(Kg/cm^2)$$

Para $P_e$ em CV, $V_H$ em cm³ e $n$ em rpm.

## 2.4.2 – CONSUMO DE COMBUSTÍVEL RENDIMENTO TÉRMICO

Independentemente do método empregado, a medição do consumo de combustível é fundamental para que se conheça a eficiência com que o motor transforma a energia química do combustível em trabalho útil. De posse dos valores de massa de combustível consumido, potência medida e tempo, pode-se calcular o consumo especifico de combustível em g/CVh, g/kWh, g/HPh ou lb./HPh. Tomando-se medições em diferentes condições de carga e rpm, é possível plotar em gráfico os diversos resultados e traçar uma curva de consumo para o motor em prova. Em geral, a curva de consumo específico do motor apresenta os pontos mais favoráveis, de menor valor, com carga em torno de 80% da potência nominal e onde são medidos os valores de torque mais elevados.

O consumo horário é dado por:

$$B = \frac{Massa}{Tempo}$$ Em Kg/h ou lb/h.

Medindo-se o consumo horário sob regime conhecido de carga, pode-se determinar o consumo específico, que é uma variável importante a ser considerada na aplicação do motor. De posse desses valores, a *Massa* será igual ao produto do *Volume* pela sua *Densidade*. [$M = \rho v$].

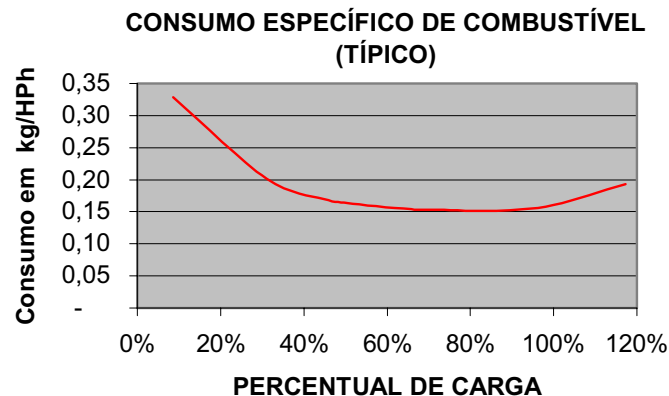
Para o óleo Diesel, o valor da densidade é tomado habitualmente como $\rho$ ***= 0,854 kg/litro,*** embora algumas variações para mais ou para menos possam ser verificadas.

$$b = \frac{Massa}{(Potência) \times (Tempo)} \Leftrightarrow \frac{\rho \times v}{P \times t}$$

Onde:

> $\rho$ = Densidade do combustível;
> ***v*** = Volume de combustível consumido;
> ***P*** = Potência do motor em HP
> ***t*** = Tempo

O consumo específico de combustível é um parâmetro de comparação muito usado para mostrar quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho. O emprego deste parâmetro tem maior aceitação que o rendimento térmico porque todas as variáveis envolvidas são medidas em unidade padrão: Tempo, Potência e Peso.

Tipicamente, para uma dada rotação, o consumo específico apresenta-se como na curva abaixo, onde se pode ver que para cargas inferiores a 30% da capacidade nominal do motor há um crescimento acentuado do consumo em kg/HPh.

Para os grupos geradores, freqüentemente o usuário quer saber o consumo específico de combustível em relação aos kWh gerados, da mesma forma como para o veículo é importante saber o consumo em termos de quilômetros com um litro de combustível.

Neste caso, basta considerar o consumo específico de combustível em g/kWh do motor e dividir pelo rendimento do alternador.

### 2.4.2.1 – RENDIMENTO TÉRMICO

É a relação entre a potência produzida e a potência calorífica entregue, ou seja, é a eficiência de transformação de calor em trabalho, para um ciclo.

> $\eta_t$ ***= (Potência Produzida / Potência Calorífica)***

Por definição: **1 HPh = 2545 BTU**,

A potência calorífica do combustível é dada em Kcal/kg, BTU/g ou unidades semelhantes, sempre em quantidade de calor em relação à massa.

Chamando-se o poder calorífico de ***Q*** (em BTU/g) e o consumo específico de combustível de ***b*** (em g/HPh), tem-se:

**Calor recebido = *bQ*** e o rendimento térmico resulta:

$$\eta_t = \frac{2545}{b \times Q}$$

## 2.4.3 – RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL

Para a combustão completa de cada partícula de combustível, requer-se, da mistura, de acordo sua composição química, uma determinada quantidade de oxigênio, ou seja, de ar: é o ar teórico necessário, $Ar_{min}$. A falta de ar (mistura rica) produz, em geral, um consumo demasiado alto de combustível, e formação de CO (monóxido de carbono) ou fuligem.

A combustão, nos motores, exige um excesso de ar. Se estabelece-se a relação entre a quantidade real de ar $Ar_{real}$ e a teórica, $Ar_{min}$, tem-se a relação $\lambda = (Ar_{real} / Ar_{min})$, que no motor Otto, fica entre 0,9 e 1,3. No motor Diesel a plena carga, normalmente, não é inferior a 1,3 e com o aumento da carga pode subir bastante. Depende da qualidade da mistura, do combustível, da forma da câmara de combustão, do estado térmico (carga) e de outras circunstâncias. A quantidade de ar teórico, $Ar_{min}$, pode ser calculada em função da composição química do combustível. Os filtros de ar, tubulações, passagens e turbocompressor são dimensionados em função da quantidade de ar necessária à combustão e devem ser mantidos livres e desobstruídos, a fim de não comprometer o funcionamento do motor.

A relação ar/combustível real é definida como a relação entre a massa de ar e a massa de combustível em um intervalo de tempo t.

$$RAC = \frac{M_{ar}}{M_{comb}}$$ *Referidas a um mesmo intervalo de tempo*

Para determinar a relação ar/combustível é necessário conhecer as quantidades de combustível e de ar consumidas pelo motor. Entretanto, medir a vazão de ar não é muito fácil. Existem processos que permitem medir, quando necessário, a quantidade de ar consumida pelo motor. Um processo normalmente utilizado é o emprego de um reservatório sob pressão controlada, que fornece ar ao motor através de orifícios calibrados. Sabendo-se a vazão permitida por cada orifício, sob a pressão medida, é possível calcular a massa de ar que o motor aspira. O método tem o inconveniente de permitir quedas de pressão no coletor de admissão, na medida em que os orifícios somente são abertos após constatada a necessidade de suprir mais ar ao motor, uma vez que é necessário manter a pressão de coletor constante. Se um único elemento medidor for usado, a queda de pressão no sistema e a pressão no coletor de admissão, estarão sujeitas a variações, dependendo da velocidade de escoamento, função direta da rpm do motor. A utilização de vários orifícios em paralelo seria um atenuante eficaz para as dificuldades citadas. Para pequenas quantidades de ar, um elemento, apenas, seria aberto, sendo os demais progressivamente colocados na linha, à proporção que a quantidade de ar aumentasse, tendo-se atenção à queda total de pressão no sistema, que deve ser mantida aproximadamente constante. O tanque ou reservatório de equilíbrio é indispensável, pois se o ar for aspirado diretamente, o escoamento será pulsante, levando a grandes erros nas medidas de pressão através dos orifícios calibrados. Em geral, como o conhecimento da quantidade de ar consumida pelo motor só tem importância para o dimensionamento de filtros de ar, turbocompressores e elementos conexos, prefere-se avaliar a quantidade de ar por meio de cálculos. O resultado

obtido por cálculos, (Ar teórico) é a quantidade mínima de ar que contém as moléculas de oxigênio suficientes para a combustão.

## 2.4.4 – RELAÇÃO COMBUSTÍVEL/AR

É o inverso da relação ar/combustível. $RCA = \frac{1}{RAC}$

## 2.4.5 – RENDIMENTO VOLUMÉTRICO

É a relação entre a massa de ar aspirado por um cilindro e a massa de ar que ocuparia o mesmo volume nas condições ambientes de pressão e temperatura.

Sendo:

**$M_a$ = Massa de ar** aspirado por hora (lb./h), dividida pelo número de aspirações por hora e

**$M_t$ = Massa de ar**, nas condições atmosféricas presentes, necessária para preencher o volume da cilindrada de um cilindro, o rendimento volumétrico será:

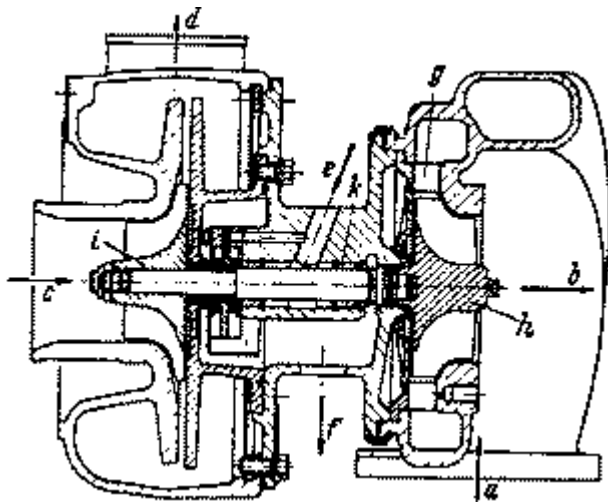
$$\eta_v = \frac{M_a}{M_t}$$

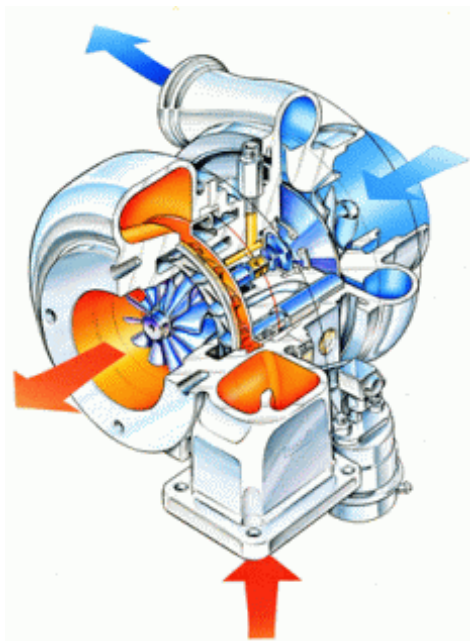
A expressão rendimento volumétrico, na realidade, define uma relação entre massas e não entre volumes, como sugere a denominação.

## 2.4.6 – EFEITO DA VELOCIDADE

Nas altas velocidades, começa haver dificuldade no enchimento dos cilindros, devido ao aumento das perdas de carga e a inércia da massa de ar, fazendo cair o rendimento volumétrico.

## 2.4.7 – EFEITO DO TURBOCOMPRESSOR

Normalmente denominado por turbina, supercharger, turbocompressor, sobrealimentador, supercarregador, turboalimentador ou simplesmente turbo, o que mais importa são os seus efeitos sobre o desempenho do motor. No caso dos motores Diesel, tem a finalidade de elevar a pressão do ar no coletor de admissão acima da pressão atmosférica, fazendo com que, no mesmo volume, seja possível depositar mais massa de ar, e, conseqüentemente, possibilitar que maior quantidade de combustível seja injetada, resultando em mais potência para o motor, além de proporcionar maior pressão de compressão no interior do cilindro, o que produz temperaturas de ignição mais altas e, por conseqüência, melhor aproveitamento do combustível com redução das emissões de poluentes. Para melhorar os efeitos do turbo-alimentador, adiciona-se ao sistema de admissão de ar, um processo de arrefecimento do ar admitido, normalmente denominado de aftercooler ou intercooler, dependendo da posição onde se encontra instalado, com a finalidade de reduzir a temperatura do ar, contribuindo para aumentar, ainda mais, a massa de ar no interior dos cilindros. A tendência, para o futuro, é que todos os motores Diesel sejam turbo-alimentados. Nos motores turbo-alimentados, o rendimento volumétrico, em geral, é maior que 1.

**Turbo-alimentador acionado pelos gases de escape para motor Diesel.**

Turbina de gás de escapamento com fluxo de fora para dentro. ***a*** = admissão do gás de escapamento; ***b*** = saída do gás de escapamento; ***c*** = admissão do ar; ***d*** = saída do ar; ***e*** = entrada do óleo lubrificante; ***f*** = saída do óleo lubrificante; ***g*** = roda motriz da turbina; ***h*** = rotor da turbina; ***i*** = rotor da ventoinha; ***k*** = bucha flutuante de mancal.

Constituído por um conjunto de dois rotores montados nas extremidades do mesmo eixo, o turbocompressor é acionado pela energia cinética dos gases de escape que impulsiona o rotor quente (ou turbina) fazendo com que o rotor frio (compressor radial) na outra extremidade impulsione o ar para os cilindros.

O turbocompressor trabalha em rotações elevadas (80.000 a 100.000 RPM), temperatura máxima do gás de escape até 790°C, proporciona um ganho de potência, nos motores Diesel, da ordem de 30 a 40% e redução do consumo específico de combustível no entorno de 5%. Devido ao aumento da pressão máxima de combustão, exige-se uma vedação sólida e uma maior pressão da injeção. O fluxo do óleo para as guias das válvulas deve ser garantido, devido a sobrepressão do gás nos canais, e o primeiro anel de segmento do pistão motor deve ser instalado em canaleta reforçada com suporte especial de aço ou ferro fundido.

O turbocompressor, devido às altas rotações de operação, trabalha com o eixo apoiado sobre dois mancais de buchas flutuantes, que recebem lubrificação tanto interna quanto externamente. Ao parar o motor, durante um certo intervalo de tempo, o turbocompressor continuará girando por inércia sem receber óleo lubrificante, uma vez que a bomba de óleo parou de funcionar. Neste período, ocorre contato entre a bucha e a carcaça e também entre a bucha e o eixo, provocando desgaste. A duração do período em que o turbocompressor permanece girando por inércia depende da rotação em que operava o motor quando foi desligado, bem como da carga a que estava submetido. Nos grupos Diesel-geradores, onde habitualmente se desliga o motor em alta rotação imediatamente após o alívio da carga, a durabilidade do turbocompressor fica sensivelmente reduzida, podendo ser medida em numero de partidas ao invés de horas de operação. Nas demais aplicações, onde não há paradas freqüentes do motor em alta rotação, a durabilidade do turbocompressor pode chegar a até 4.000 horas, contra o máximo de 1.000 partidas nos grupos Diesel-geradores. Por isso, recomenda-se não parar o motor imediatamente após o alívio da carga, deixando-o operar em vazio por um período de 3 a 5 minutos. Existe um

dispositivo acumulador de pressão para ser instalado na linha de lubrificação do turbocompressor que ameniza os efeitos das paradas, porém não é fornecido de fábrica pelos fabricantes de motores Diesel, devendo, quando for o caso, ser instalado pelo usuário.

Os reparos no turbocompressor devem ser feitos, de preferência, pelo fabricante. A maioria dos distribuidores autorizados disponibiliza para os usuários a opção de venda de remanufaturado a base de troca, que além de ser rápida, tem a mesma garantia da peça nova. Em geral, as oficinas que se dizem especializadas, utilizam buchas de bronze (em substituição das buchas sinterizadas) e usinam as carcaças quando da realização de recondicionamentos e, na maioria dos casos, não dispõem do equipamento para balanceamento do conjunto rotativo, fazendo com que a durabilidade de um turbocompressor recondicionado nessas condições fique ainda mais reduzida.

O defeito mais freqüente é o surgimento de vazamentos de óleo lubrificante, que quando ocorre pelo lado do rotor frio (compressor), pode consumir o óleo lubrificante do cárter sem que seja percebido. Em geral, o mau funcionamento do turbocompressor é percebido pela perda de potência do motor sob plena carga e pela presença de óleo lubrificante e fumaça preta na tubulação de escapamento. Em alguns casos, pode-se perceber ruído anormal.

Filtro de ar obstruído também é uma causa freqüente de defeito do turbocompressor. O efeito da sucção do rotor do compressor no interior da carcaça puxa óleo lubrificante através das vedações do eixo, provocando deficiência de lubrificação e consumo excessivo de lubrificante.

## NOVAS TECNOLOGIAS

Para as próximas gerações de motores Diesel, estão sendo desenvolvidos turbocompressores dotados de recursos para interatividade com gerenciamento eletrônico, assistidos por sensores e atuadores a comandos hidráulicos, elétricos e/ou pneumáticos. Já se utilizam atualmente turbocompressores com capacidade para girar até 240 mil rpm. Estes desenvolvimentos incluem novos sistemas de mancais, com a utilização de rolamentos de esferas especiais e mancais a ar. A plataforma de desenvolvimento principal será o conceito atualmente conhecido como geometria variável (VGT), em que, dependendo das variações da carga aplicada ao motor, faz-se variar o fluxo de gases de escape sobre a turbina, variando assim a energia fornecida, e, por conseqüência, a quantidade de ar enviada pelo compressor para os cilindros. Além do conceito de geometria variável, há opções de multiestágios e a combinação de compressores centrífugos com compressores radiais. O objetivo principal é manter a relação ar/combustível em qualquer situação operacional do motor em proporções que propiciem o melhor aproveitamento possível da energia térmica do combustível, reduzindo as emissões de poluentes e produzindo ruídos em níveis reduzidos.

Nos motores atuais para grupos geradores, as respostas às solicitações das cargas, para manter constante a rotação do motor, são baseadas unicamente na dosagem do combustível, podendo ocorrer desequilíbrios e produção de fumaça negra em virtude do turbocompressor só poder suprir a quantidade necessária de ar quando impulsionado por uma quantidade correspondente de gases de escape. Nos veículos, este impasse foi parcialmente resolvido com a adoção do dispositivo conhecido como “papa fumaça”, que controla o deslocamento da cremalheira da bomba injetora por meio de um diafragma acionado pela pressão do turbocompressor. Dessa forma, se não há pressão de ar suficiente, a quantidade de combustível é reduzida, evitando a formação de fumaça. Nos grupos geradores, o uso do “papa fumaça” é limitado a poucos equipamentos, em virtude das características construtivas das bombas e governadores de rotações utilizados. Com o

advento dessas novas tecnologias, também os motores estacionários serão melhorados em futuro próximo.

**TURBOCOMPRESSOR VGT HOLSET**

Alguns sensores são utilizados para informação primária ao sistema de gerenciamento do motor, outros para proteção ou para o algoritmo de segurança usado na unidade de controle eletrônico e diagnóstico ativo de outros sensores. Muitos já disponíveis nas aplicações atuais.

## 2.4.8 – ENERGIA TÉRMICA DO COMBUSTÍVEL

A energia térmica liberada na combustão não é totalmente aproveitada para a realização de trabalho pelo motor. Na realidade, a maior parcela da energia é desperdiçada de várias formas. Motores Diesel de grande porte e baixa rotação tem melhor aproveitamento da energia obtida na combustão. O calor gerado pelo poder calorífico do óleo Diesel se dispersa e apenas uma parcela é transformada em potência útil. Para os motores Diesel de pequeno porte e alta rotação, em média, o rendimento térmico se situa entre 36 e 40%, o que para máquinas térmicas, é considerado alto. Abaixo vemos um diagrama de fluxo térmico para um motor Diesel de grande cilindrada (diagrama Sankey), onde se pode ter uma idéia de como o calor é aproveitado.

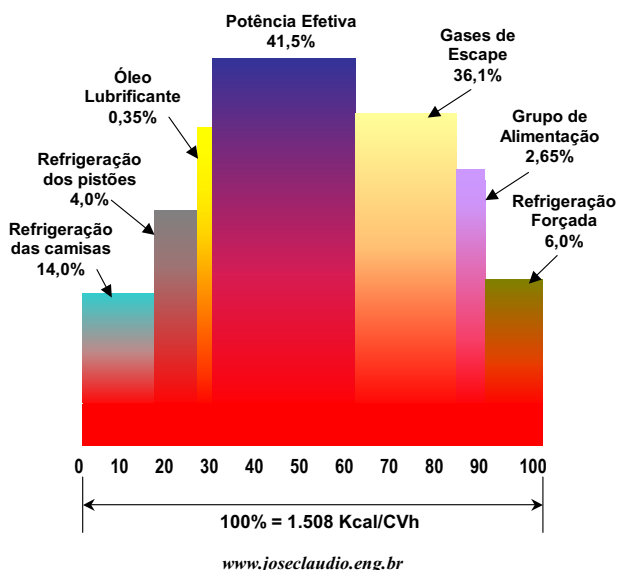



Diagrama de fluxo térmico de um motor Diesel de grande cilindrada com turbocompressor acionado pelos gases de escape e refrigeração forçada.

Calor aduzido de 1508 Kcal / CVh com $p_e$ = 8 kp /cm². Vê-se que 41,5% do calor é transformado em potência útil, 22,4% é trocado com a água de refrigeração e 36,1% sai com os gases de escape.

## 2.4.9 – CORREÇÕES POR INFLUÊNCIAS DE CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

O desempenho dos motores Diesel é afetado pelas condições ambientais de temperatura, pressão e umidade. Se o motor estiver trabalhando em local de baixa pressão barométrica, menor será a potência observada, porque piora o enchimento dos cilindros. Da mesma forma, temperaturas elevadas fazem com que menos massa de ar no mesmo volume seja admitida. Porém, é desejável um certo aquecimento para proporcionar a vaporização do combustível. Em conseqüência, a fim de permitir uma base comum de comparação dos

resultados, deve ser aplicado um fator de redução para transformar os valores correspondentes às condições da atmosfera padrão.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS PADRÃO

Segundo a norma NBR 5484 da ABNT:

| | |
|---|---|
| Pressão barométrica | ***Bp*** = 746 mmHg (150m de altitude, aproximadamente) |
| Temperatura ambiente | ***Tp*** = 30ºC |
| Pressão de vapor | ***Hp*** = 10mmHg |
| Pressão barométrica de ar seco | ***Bs*** = 736mmHg |
| Densidade absoluta do ar seco | ***Ds*** = 1,129 Kg/m³ |

## FATORES DE REDUÇÃO

O método de redução recomendado se baseia na premissa de que a relação ar/combustível, o rendimento térmico indicado, a potência de atrito e a eficiência volumétrica não se alteram com as variações das condições atmosféricas de pressão, temperatura e umidade ou que esse efeito é desprezível. Porém essa suposição só é válida se a faixa das condições ambientais for pequena, de modo a não serem afetadas as características da combustão do motor. A faixa recomendada é:

| | |
|---|---|
| Pressão barométrica | = 690 a 770mmHg |
| Temperatura de admissão do ar | = 15ºC a 45ºC |

Em motores do Ciclo Otto, o fator de redução é calculado pela expressão:

$$R_o = \frac{29,92}{P_a}\sqrt{\frac{T_a + 460}{520}}$$ Para ***Pa*** em inHg e ***Ta*** em ºF ou

$$R_o = \frac{736}{P_a}\sqrt{\frac{T + 273}{303}}$$ Para ***Pa*** em mmHg e ***Ta*** em ºC.

***Pa*** = Pressão barométrica do ar seco (pressão barométrica observada = pressão parcial de vapor levantada com auxílio da carta psicrométrica).

***Ta*** = Temperatura absoluta do ar aspirado (medida a 15 cm da entrada da admissão).

Este fator permite a correção do torque, da potência e da pressão média efetiva observados durante o ensaio. Não deve ser aplicado ao consumo específico de combustível, pois supõe-se que o motor receba a quantidade correta de combustível a ser queimado com o ar aspirado.

Em motores Diesel funcionando com relação ar/combustível constante, o fator de redução é dado pela expressão:

$$R_d = \frac{736}{P_a}\left(\frac{T_a + 273}{303}\right)$$ Para ***Pa*** em mmHg e ***Ta*** em ºC, ou:

$$R_d = \frac{29,92}{P_a}\left(\frac{T_a + 460}{520}\right)$$ Para ***Pa*** em inHg e ***Ta*** em ºF.

**NOTA:**
Para motores Diesel, em ensaios com fornecimento constante de combustível (limitação fixa da bomba injetora) o método empregado para redução dos resultados é gráfico. A descrição deste método pode ser encontrada na norma NBR 5484 da ABNT.

## 2.5 - COMBUSTÃO NO MOTOR DIESEL

- **Processo por injeção:**

  O gás de combustão aspirado ou induzido sob pressão é tão comprimido (temperatura entre 550 e 600° C), que se dá a auto-ignição. Uma parte do combustível, injetada em primeiro lugar, queima rapidamente e o que é injetado em seguida, em maior quantidade, queima a pressão *aproximadamente* constante. A combustão não ocorre inteiramente, caso não se sucedam no tempo certo o aquecimento do combustível e a ignição. A injeção começa antes do pistão atingir o PMS, no tempo de compressão. Só se consegue uma boa combustão, quando há a melhor mistura possível entre as gotículas de combustível e o ar necessário à combustão. Para tanto, faz-se necessário, entre outras coisas, a adequação do jato de combustível à forma da câmara de combustão (com ou sem repartições). Outras possibilidades: um ou mais jatos; disposição dos jatos; comprimento dos jatos; sua força; tamanho das gotículas, turbilhonamento mais intenso do ar de combustão. Forma do pistão; câmara de combustão repartida, com câmaras de ar, pré-câmaras, ou câmaras de turbilhonamento e também fluxo de ar tangencial.

- **Ignição:**

  Pode não se dar uma sensível vaporização do combustível Diesel, de elevado ponto de ebulição, devido à rapidez do processo. As gotículas de combustível que são injetadas, inflamam-se após terem sido levadas à *temperatura de auto-ignição*, pelo ar pré-aquecido e comprimido no cilindro. O intervalo de tempo entre a injeção e a ignição deve estar sincronizada com a calagem da árvore de manivelas, correspondente a elevação adequada de pressão. O retardo da ignição deve ser o mínimo possível; caso contrário, chega à câmara de combustão uma quantidade excessiva de combustível não queimado, que irá produzir aumento de pressão no próximo tempo de compressão e reduzir a lubrificação entre as camisas dos cilindros e os anéis de segmento, resultando, com a continuidade do processo, em desgaste, que num primeiro momento, é conhecido como "*espelhamento*" das camisas dos cilindros. Combustíveis Diesel com boa ignição, tem um pequeno retardo; proporcionam compressão uniforme para a combustão e operação suave do motor. O retardo da ignição, depende do tipo de combustível, pressão e temperatura na câmara de combustão.

- **Retardo da injeção:**

  Medido pela calagem da árvore de manivelas, é o intervalo de tempo necessário ao pistão da bomba de injeção, para levar a quantidade de combustível situada entre a canalização da bomba e o assento da válvula de injeção (bico injetor), à pressão de injeção. Infelizmente, é quase impossível, especialmente nos motores de funcionamento rápido, controlar de maneira satisfatória o programa de combustão

("Lei de aquecimento") e a variação da pressão durante a combustão mediante o início e o desenvolvimento da injeção, a não ser com baixa compressão, que por outro lado diminui o rendimento e se opõe frontalmente ao princípio do motor Diesel. No tempo de alguns centésimos de segundo, entre o começo da injeção e a ignição, uma parte importante da quantidade injetada penetra na câmara de combustão e se inflama rápida e simultaneamente com o súbito aumento de pressão. Além disto, durante a ignição na fase fluida se formam peróxidos com um indesejável caráter explosivo. Estas "batidas" dão aos carburantes um maior retardamento de ignição impróprio para motores Diesel.

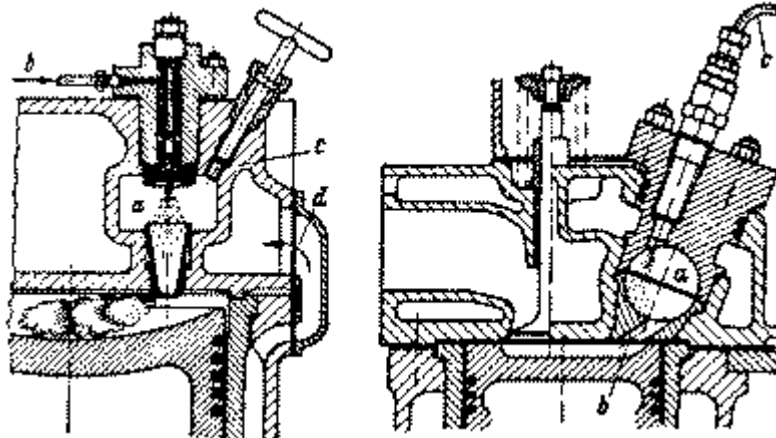
A *temperatura dos gases* tem como limite superior a resistência das peças à alta temperatura e a qualidade do óleo lubrificante e como limite inferior, a temperatura da atmosfera. O limite superior de *pressão* é dado pelo fato de que um aumento de compressão, mesmo que pequeno, acarreta um aumento nas forças do motor e, conseqüentemente, um aumento de resistência só seria possível com um aumento no seu peso. As limitações de Volume são conseqüência da necessidade de se evitar expansões demasiado grandes, pois só se consegue uma pequena vantagem de potência com a desvantagem de um motor muito grande e pesado.

Para avaliar o nível da conversão de energia no motor, há processos de cálculo que permitem determinar as limitações acima.

## 2.5.1 – TIPOS DE INJEÇÃO

O ponto mais importante é a formação da mistura mediante a injeção do combustível antes e durante a auto-ignição e combustão na carga de ar fortemente comprimida. No desenvolvimento dos motores Diesel, ao longo dos últimos cem anos, foram encontradas várias soluções que, em parte, coexistem ainda em nossos dias.

- **Injeção indireta**:

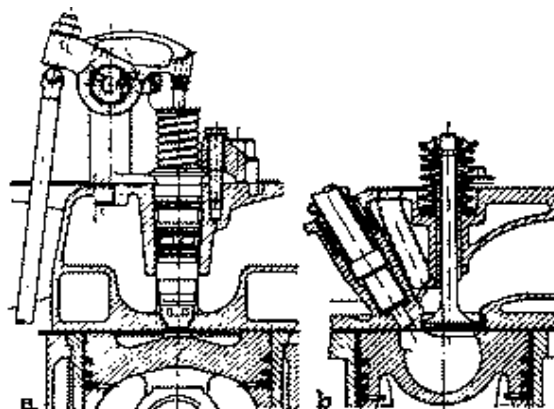
  Uma pequena parte da câmara de combustão (antecâmara) é separada da parte principal mediante um estreitamento. O combustível, que em sua totalidade é injetado na antecâmara mediante uma bomba dosificadora a êmbolo com funcionamento de excêntrico, com uma pressão entre 80 e 120 at, dependendo do projeto do motor, inflama-se e queima parcialmente ali; a sobre-pressão instantânea assim formada sopra a mistura inflamada com um efeito de pulverização e turbulência violentas através do "canal de disparo" até a câmara principal rica de ar. As paredes da antecâmara, sobretudo o ponto de impacto do jato entrante, são mantidas com a temperatura mais elevada possível, pois desta forma auxiliam na preparação e ignição do combustível. Embora tenha a vantagem de produzir menos componentes de gás de escape prejudiciais à saúde, produz maiores perdas de calor, devido a multiplicação de superfícies de permutação, o que resulta em maior consumo específico de combustível e, atualmente, é um processo pouco utilizado nos motores modernos.

**Antecâmara no cabeçote de um motor Diesel de 4 tempos.**

A parte inferior da antecâmara ***a*** é quente, porque se encontra separada das paredes refrigeradas pelo entreferro. Descontinuidade da pressão na antecâmara e insuflação na parte principal da câmara de combustão mediante um canal injetor. ***b*** = tubulação de combustível; ***c*** = ignição auxiliar para partidas a frio; ***d*** = passagem da água de refrigeração para o cabeçote.

**Antecâmara tipo esférica.**

A câmara de turbulência ***a*** contém quase toda a carga de ar que, no percurso de compressão, penetra tangencialmente pelo canal ***b*** começando um movimento circular; ***c*** = tubulação de combustível.

- **<u>Injeção direta:</u>**

  O combustível é injetado diretamente sobre a cabeça do pistão mediante um bico injetor, com um ou vários pequenos furos (diâmetros de 0,1 a 0,3 mm) direcionados segundo um ângulo apropriado. Funciona com pressões elevadas (até 400 at) para conseguir uma pulverização muito fina e uma distribuição adequada do combustível no ar de carburação. O jato único forma uma neblina composta de gotas minúsculas, que costuma se inflamar em primeiro lugar na proximidade da entrada. A formação da mistura é acelerada e melhorada quando o ar de carburação executa um movimento rápido em relação à névoa de combustível. Para isto, o movimento circular e turbulento do ar se produz de várias formas já com o processo de sucção ou com a compressão. A maioria dos motores modernos utiliza o processo de injeção direta de combustível, em virtude do seu melhor rendimento térmico.

**Processos de injeção direta.**

***a*** = injeção direta no ar parado (Cummins); ***b*** = jato sobre a cabeça do pistão com câmara de mistura térmica (processo MAN-M).

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre o processo da combustão em motores Diesel. Inicialmente, acreditava-se que ocorria uma explosão no interior do cilindro, razão pela qual, os motores de combustão interna eram também chamados de motor a explosão. Por meio de observações, testes diversos, tentativas, erros e acertos, os componentes do sistema de injeção vêm sendo aperfeiçoados nos seus desenhos, preservando, no entanto, o que de melhor se alcançou, em termos de resultados com o processo de injeção direta. Recentemente, descobriu-se mais detalhes do processo de combustão e isto, certamente, trará novos desenvolvimentos. Com o auxílio de um equipamento de raios-x de alta velocidade, foi possível registrar os diversos instantes em que a combustão se processa. Até então, todas as observações feitas eram por meio de iluminação estroboscópica, que permitia visualizar uma fração de cada tempo de combustão e, formando uma seqüência de imagens, tinha-se uma idéia do processo.

## 2.5.1.1 – SISTEMA DE INJEÇÃO

Desde a construção do primeiro motor Diesel, o principal problema tem sido o processo de injeção do combustível para a combustão ideal. Os sistemas existentes não sofreram grandes modificações no correr dos anos. As principais alterações, que resultaram em evolução significativa, foram, primeiramente o advento da bomba rotativa em linha, desenvolvida por Robert Bosch em 1927, que permitiu aos motores alcançarem rotações mais elevadas e, conseqüentemente, mais potência. Depois, no decorrer da década de 80, surgiram os primeiros sistemas de gerenciamento eletrônicos (EDC, de Electronic Diesel Control). O desenvolvimento dos sistemas EDC, embora trazendo consideráveis resultados, esbarrava na limitação mecânica dos sistemas em uso, que não podiam prescindir de um meio de comprimir o óleo Diesel pela ação de um pistão comandado no instante adequado. Assim, mantinham-se os componentes básicos dos sistemas de injeção, utilizando-se os recursos eletrônicos para monitoramento e controle, sem possibilidade de intervenções importantes no processo de injeção. O início, duração e término da injeção permaneciam acoplados à posição da árvore de manivelas, uma vez que as bombas injetoras não permitiam variações, por serem acionadas por engrenagens conduzidas pela rotação do motor. Diferentemente dos motores do ciclo Otto, que já utilizavam a injeção eletrônica de combustível e sistema de ignição transistorizado independentes, os motores Diesel ainda esperavam por novas tecnologias.

Em 1997, a Alfa Romeu lançou o seu modelo 156 equipado com um motor Diesel dotado de um sistema de injeção revolucionário, que ela denominou de JTD. Tal sistema, aumentava a potência e o torque com redução do consumo e, por conseqüência, os níveis de emissões e abriu novas perspectivas para o futuro dos motores Diesel. Posteriormente, os direitos de fabricação deste sistema foram cedidos à Robert Bosch, que começou a equipar motores para a Mercedes Benz, BMW, Audi, Peugeot e Citroën (estes últimos denominam o sistema de HDI). Em 2003 chegará ao mercado um modelo da Fiat. A Ford está testando um modelo Focus e a Volkswagen já apresentou um Passat equipado com o novo sistema. No segmento de motores mais pesados, as fábricas Mercedes, Scania e Volvo já anunciaram os lançamentos dos novos motores equipados com este sistema, que ganhou a denominação de COMMON RAIL.

Segundo a Robert Bosch do Brasil:

*"O Sistema Common Rail Bosch é um moderno e inovador sistema de injeção diesel. Ele foi desenvolvido para atender à atual demanda do mercado em relação à diminuição do consumo de combustível, da emissão de poluentes e maior rendimento do motor exigidos pelo mercado. Para isto são necessárias altas pressões de injeção, curvas de injeção exatas e dosagem extremamente precisa do volume do combustível.*

*Com a introdução da primeira bomba injetora em linha fabricada em série no ano de 1927, estavam criadas as condições para o emprego do motor Diesel de alta rotação em veículos automotivos. O emprego da bomba injetora em linha ainda hoje está em diversos veículos utilitários e motores estacionários, chegando até a locomotivas e navios com pressões de injeção para motores de até cerca de 160 kw por cilindro. Os diferentes requisitos para a utilização dos motores Diesel levaram ao desenvolvimento de diversos sistemas de injeção, adequados às respectivas exigências.*

*O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail" para motores de injeção direta abre perspectivas completamente novas:*

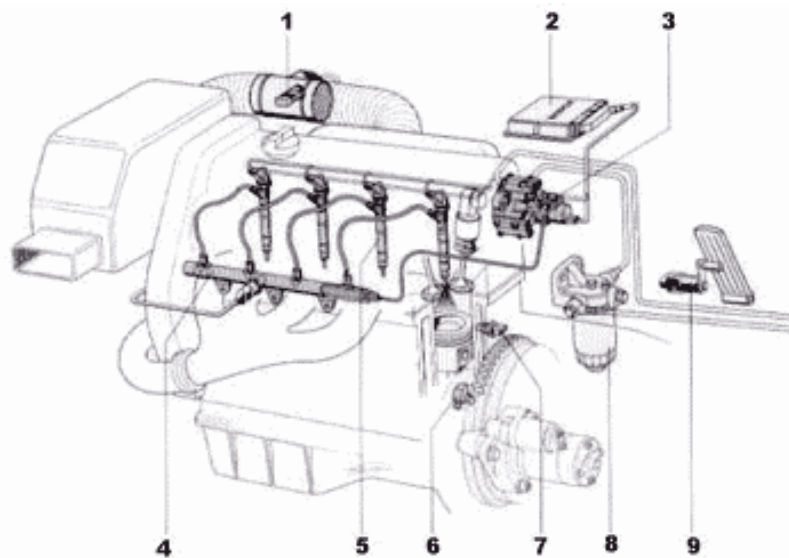
- *Ampla área de aplicação (para veículos de passeio e utilitários leves com potência de até 30 kw / cilindro, para utilitários pesados chegando até a locomotivas e navios com potência de até 200 kw / cilindro);*
- *Alta pressão de injeção de até cerca de 1400 bar;*
- *Início de injeção variável;*
- *Possibilidade de pré-injeção, injeção principal e pós-injeção;*
- *Volume de injeção, pressão no "Rail" e início da injeção adaptados a cada regime de funcionamento, assim como;*
- *Pequenas tolerâncias e alta precisão durante toda a vida útil.*

*O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail", produção de pressão e injeção são acoplados. A pressão de injeção é produzida independente da rotação do motor e do volume de injeção e está no "Rail" (acumulador de combustível de alta pressão) pronta para a injeção.*

*Momento e qualidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônica e transportados pelo injetor (unidade de injeção) em cada cilindro do motor através de uma válvula magnética ativada. Com o injetor e a alta pressão sempre iminente, obtém-se uma curva de injeção muito precisa.*

*Com a ajuda dos sensores a unidade de comando pode captar a condição atual de funcionamento do motor e do veículo em geral. Ela processa os sinais gerados pelos sensores e recebidos através de cabos de dados. Com as informações obtidas ela tem condição de exercer comando e regulagem sobre o veículo e, principalmente, sobre o motor.*

*O sensor de rotação do eixo de comando, determina, com o auxílio do efeito "Hall", se o cilindro se encontra no PMS da combustão ou da troca de gás. Um potenciômetro na função de sensor do pedal do acelerador, informa através de um sinal elétrico à unidade de comando, com que força o condutor acionou o pedal (aceleração).*

*O medidor de massa de ar informa á unidade de comando qual a massa de ar atualmente disponível para assegurar uma combustão possivelmente completa. Havendo um turbocompressor, atua ainda o sensor que registra a pressão de carga. Com base nos valores dos sensores de temperatura do agente de refrigeração e de temperatura do ar. De acordo com o veículos são conduzidos ainda outros sensores e cabos de dados até a unidade de comando para fazer cumprir as crescentes exigências de segurança e de conforto.”*

1. medidor de massa de ar,
2. unidade de comando,
3. bomba de alta pressão,
4. acumulador de alta pressão (Rail),
5. injetores,
6. sensor de rotação do eixo da manivela,
7. sensor de temperatura do motor,
8. filtro de combustível,
9. sensor do pedal do acelerador.

Esta nova tecnologia ainda não está disponível para os motores utilizados nos grupos geradores. Tudo indica que brevemente também os motores estacionários e industriais serão incrementados com novos desenvolvimentos tecnológicos.

Um indicativo importante do sucesso do sistema, por exemplo, é o anúncio da Delphi Diesel de investimento de 2 bilhões de dólares no desenvolvimento das suas linhas de produção para fabricar componentes Common Rail.

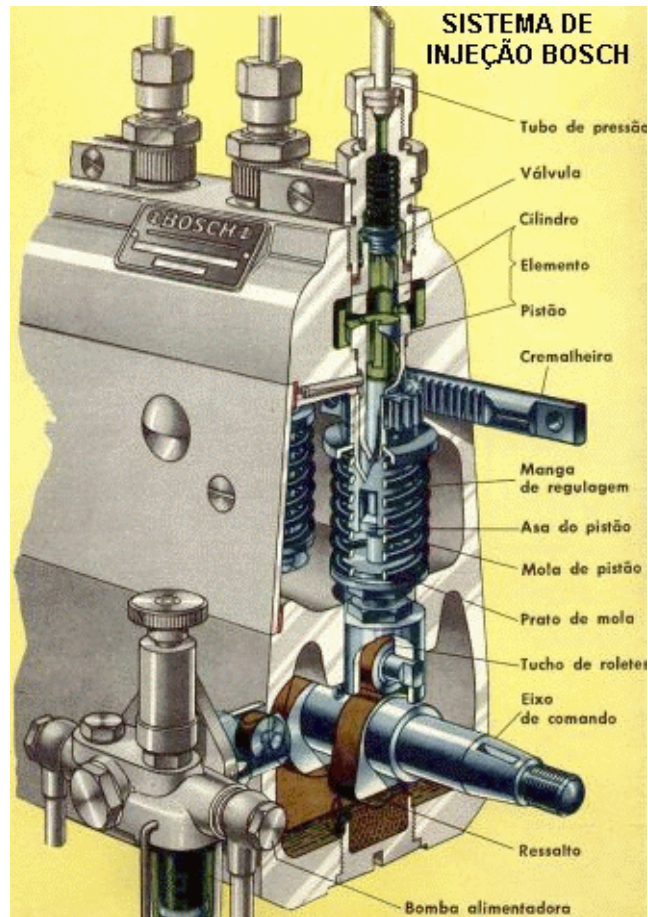
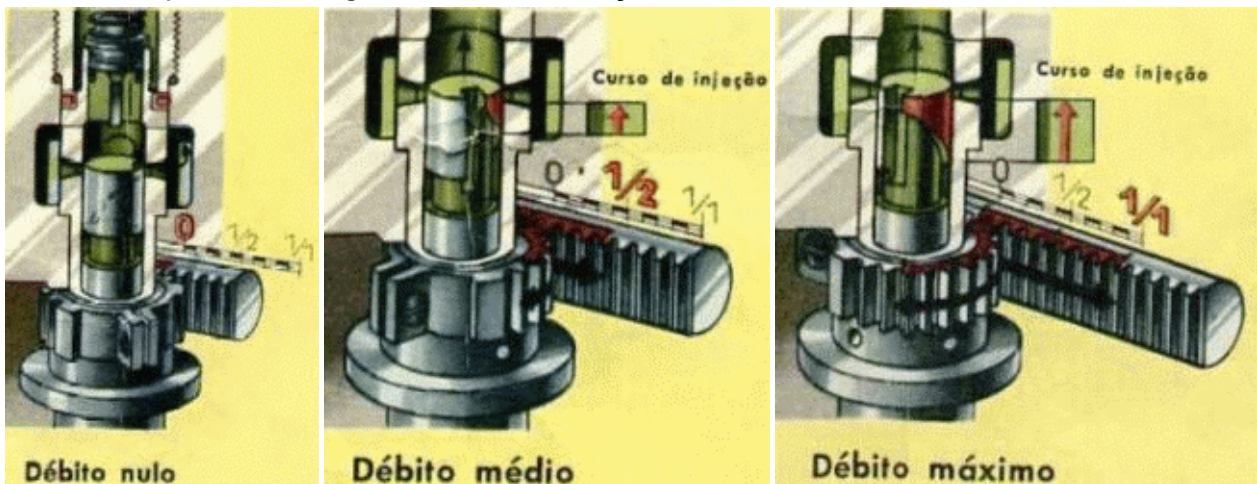
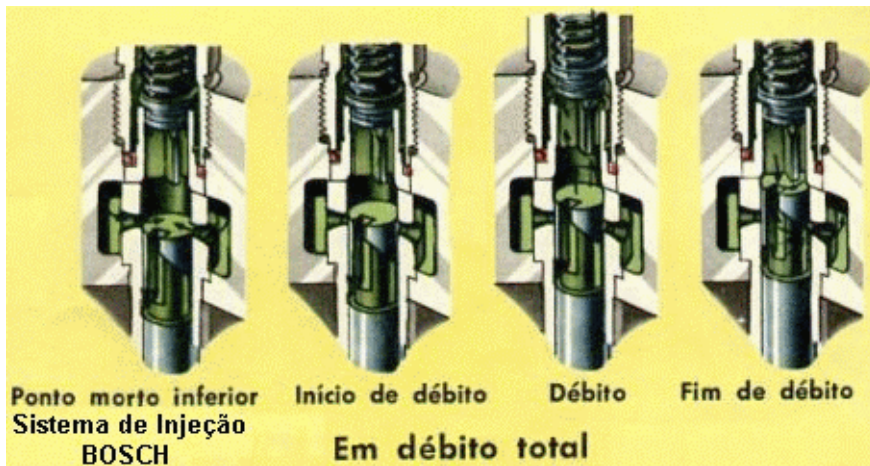
Com o advento destas inovações, muda sensivelmente o perfil do profissional de manutenção de motores, que deverá adquirir conhecimentos também de sistemas digitais e da utilização de ferramentas computadorizadas para diagnóstico de falhas e correção de defeitos.

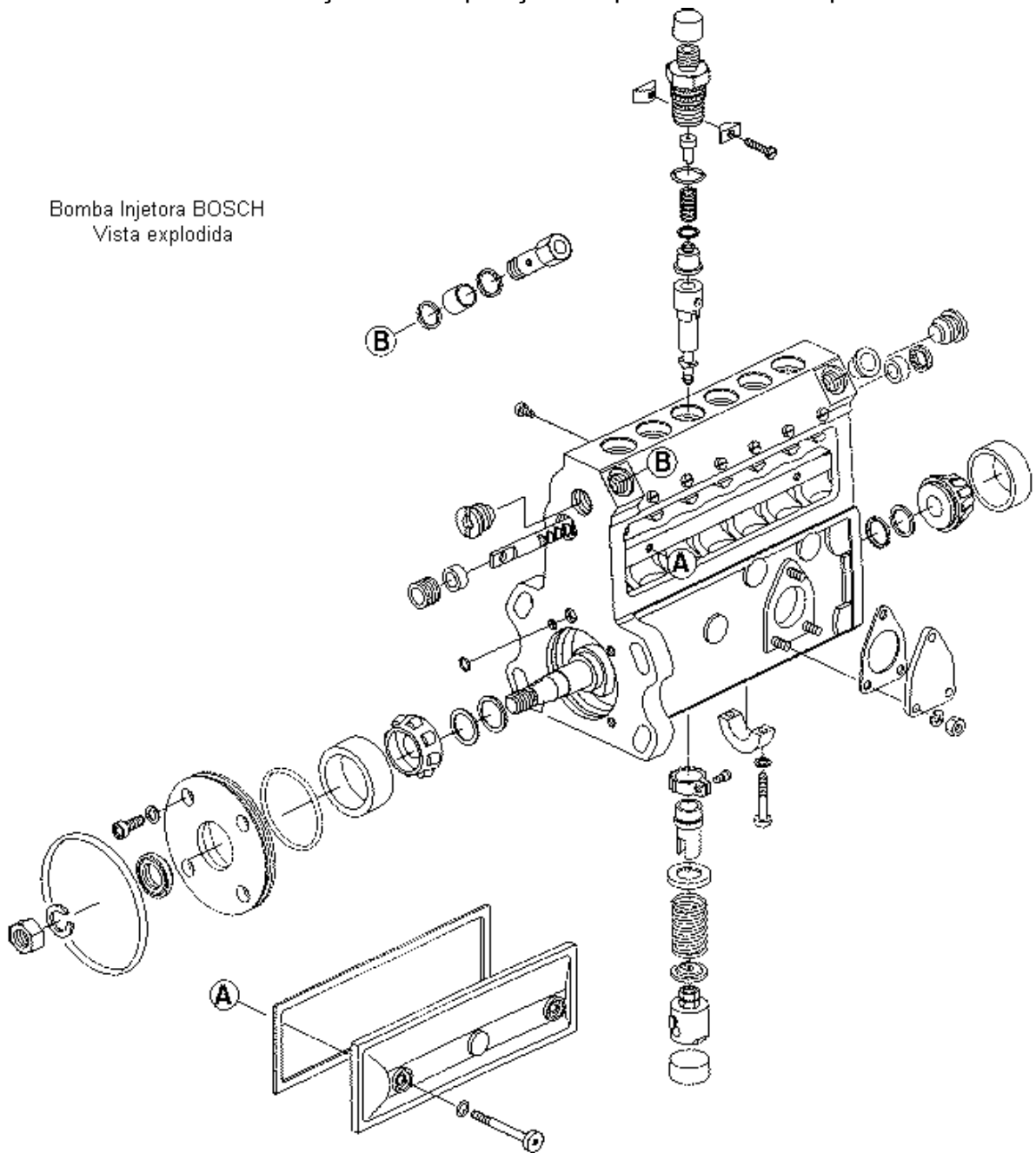
## 3 – COMPONENTES DO SISTEMA DE INJEÇÃO

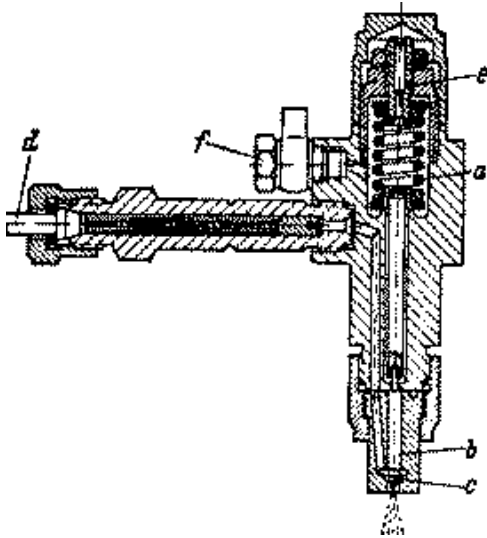
- **Bomba injetora:**

A injeção do combustível Diesel é controlada por uma bomba de pistões responsável pela pressão e dosagem para cada cilindro, nos tempos corretos. Na maioria dos motores Diesel, utiliza-se uma bomba em linha dotada de um pistão para cada cilindro e acionada por uma árvore de cames que impulsiona o combustível quando o êmbolo motor (pistão) atinge o ponto de início de injeção, no final do tempo de compressão. Alguns motores utilizam bombas individuais para cada cilindro e há outros que utilizam uma bomba de pressão e vazão variáveis, fazendo a injeção diretamente pelo bico injetor acionado pela árvore de comando de válvulas. Há ainda aqueles que utilizam bombas rotativas, que distribuem o combustível para os cilindros num processo semelhante ao do distribuidor de corrente para as velas, utilizado nos motores de automóveis.

As bombas injetoras, rotativas ou em linha, para que funcionem, são instaladas no motor sincronizadas com os movimentos da árvore de manivelas. Ao processo de instalação da bomba injetora no motor dá-se o nome de *calagem da bomba*. Cada

fabricante de motor adota, segundo o projeto de cada modelo que produz, um processo para a calagem da bomba injetora. Na maioria dos casos, a coincidência de marcas existentes na engrenagem de acionamento da bomba com as marcas existentes na engrenagem acionadora é suficiente para que a bomba funcione corretamente. Em qualquer caso, porém, é absolutamente necessário consultar a documentação técnica fornecida pelo fabricante, sempre que se for instalar uma bomba injetora, pois os procedimentos são diferentes para cada caso.

A dosagem do combustível é feita pela posição da cremalheira, conectada ao acelerador por meio do governador de rotações.

Dosagem do combustível. Com o mesmo deslocamento vertical, o pistão injeta mais ou menos combustível em função da sua posição. O que muda é o tempo final de débito.

Bomba Injetora BOSCH
Vista explodida

**Bicos injetores:**

Normalmente instalados nos cabeçotes, tem a finalidade de prover o suprimento de combustível pulverizado em forma de névoa. A agulha do injetor se levanta no começo da injeção devido à força exercia pela pressão na linha de combustível, suprida pela bomba injetora. Durante os intervalos de tempo entre as injeções, se mantém fechado automaticamente pela ação de uma mola. Uma pequena quantidade de combustível, utilizada para lubrificar e remover calor das partes móveis dos injetores é retornada ao sistema de alimentação de combustível. Os bicos injetores, assim como as bombas, são fabricados para aplicações específicas e não são intercambiáveis entre modelos diferentes de motores. Em muitos casos, um mesmo modelo de motor, em decorrência de alguma evolução introduzida na sua produção, utiliza um tipo de bico injetor até um determinado número de série e outro a partir de então, sem que sejam intercambiáveis entre si. É necessário ter atenção especial quando for o caso de substituir bicos ou bombas injetoras, para que sejam utilizados os componentes corretos.

**Porta-injetor e Bico Injetor.**
A agulha do bico ***b*** que fecha com o auxílio de uma forte mola ***a***, é levantada pela elevada pressão do combustível bombeado em c. ***d*** = linha de pressão; ***e*** = parafuso de ajuste para a regulação da pressão de injeção; ***f*** = linha de retorno do combustível utilizado para lubrificação e refrigeração do bico injetor.

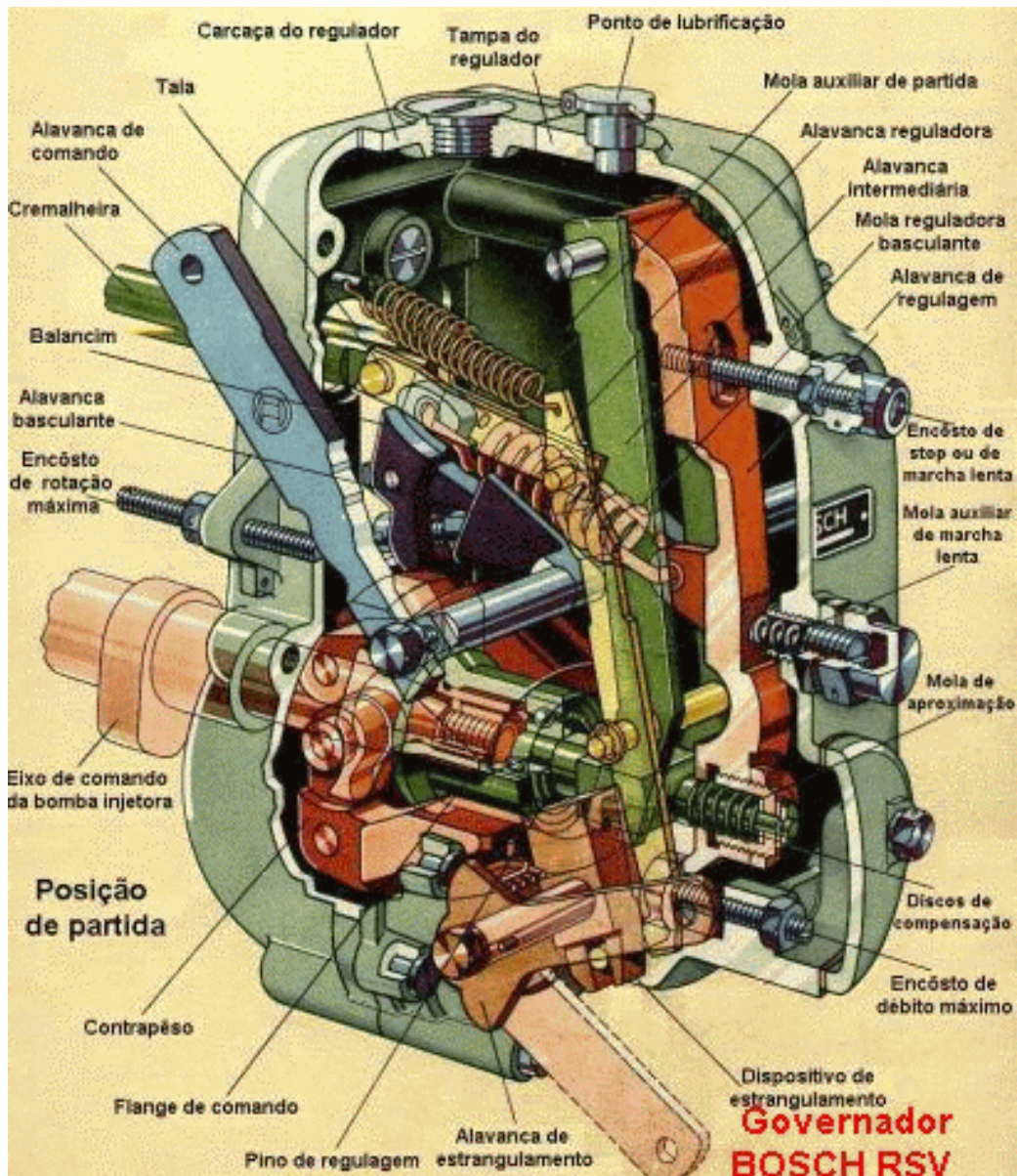
**Injetor Common Rail BOSCH**

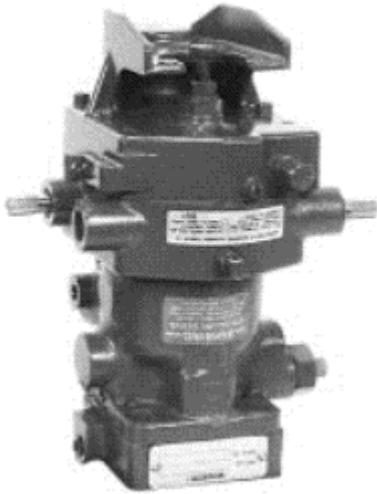
## 4 – REGULAÇÃO DA VELOCIDADE

A rotação de trabalho do motor Diesel depende da quantidade de combustível injetada e da carga aplicada à árvore de manivelas (potência fornecida à máquina acionada). Também é necessário limitar a rotação máxima de trabalho do motor, em função da velocidade média do pistão ($c_m = s\ n\ /\ 30$), que não deve induzir esforços que superem os limites de resistência dos materiais, bem como da velocidade de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento, que a partir de determinados valores de rotação do motor, começam a produzir efeitos indesejáveis. Nas altas velocidades, começa haver dificuldade no enchimento dos cilindros, devido ao aumento das perdas de carga e a inércia da massa de ar, fazendo cair o rendimento volumétrico.

Como a quantidade de combustível injetada é dosada pela bomba injetora, por meio da variação de débito controlada pelo mecanismo de aceleração, limita-se a quantidade máxima de combustível que pode ser injetada. Dependendo do tipo de motor, essa limitação é feita por um batente do acelerador, que não permite acelerar o motor além daquele ponto. O mecanismo de aceleração, por si só, não é capaz de controlar a rotação do motor quando ela tende a cair com o aumento da carga ou a aumentar com a redução da mesma carga. É necessário então outro dispositivo que assegure controle da dosagem de combustível em função das solicitações da carga. Na maioria dos motores, este dispositivo é constituído por um conjunto de contrapesos girantes, que por ação da força centrífuga, atua no mecanismo de aceleração de modo a permitir o suprimento de combustível sem variações bruscas e respondendo de forma suave às solicitações da carga. Conhecidos como reguladores ou governadores de rotações, são utilizados em todos os motores Diesel e, dependendo da aplicação, como visto no início deste trabalho, tem características distintas e bem definidas. No caso específico dos motores para grupos Diesel-geradores, a regulação da velocidade é um item particularmente crítico, uma vez que a freqüência da tensão gerada no alternador necessita ser mantida constante, ou seja, o motor Diesel deve operar em rotação constante, independente das solicitações da carga. Isto significa que a cada aparelho elétrico que se liga ou desliga, o governador deve corrigir a quantidade de combustível injetada, sem permitir variações da RPM, o que é quase impossível, dado o tempo necessário para que as correções se efetivem. Para solucionar o problema, existem quatro tipos básicos de governadores, que são:

- **Governadores mecânicos**:

  Constituídos por um sistema de contrapesos, molas e articulações, atuam no mecanismo de aceleração aumentando ou diminuindo o débito de combustível sempre que a rotação se afasta do valor regulado, em geral, 1800 RPM. Tem tempo de resposta considerado longo e permitem oscilações em torno do valor regulado. Dependendo da carga que for aplicada bruscamente, permitem quedas acentuadas da RPM e, na recuperação, permitem ultrapassar o valor regulado para, em seguida, efetuar nova correção de menor grau. São mais baratos e utilizados em grupos Diesel-geradores que alimentam equipamentos pouco sensíveis às variações de freqüência. Tem precisão de regulação em torno de 3%, podendo chegar até 1,5%. O tipo mais comum, utilizado em grande numero de motores equipados com bombas injetores Bosch em linha, é o governador Bosch modelo RSV.

- **Governadores hidráulicos**:

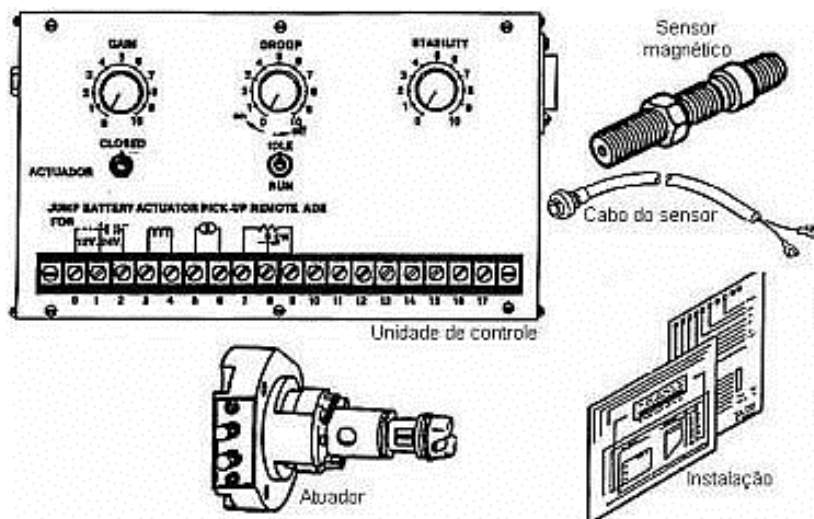
  De maior precisão que os governadores mecânicos, podem ser acionados pelo motor Diesel independentemente da bomba injetora e atuam sobre a alavanca de aceleração da bomba, exercendo a função que seria do pedal do acelerador do veículo. São constituídos por um sistema de contrapesos girantes, que fazem o papel de sensor de rotação e uma pequena bomba hidráulica para produzir a pressão de óleo necessária ao acionamento. As variações de rotação "sentidas" pelos contrapesos são transformadas em vazão e pressão de óleo para alimentar um pequeno cilindro ligado à haste de aceleração da bomba. Por serem caros e necessitarem de um arranjo especial para montagem no motor, são pouco utilizados. O modelo mais conhecido em uso no Brasil é o Woodward PSG.

Governador Hidráulico WOODWARD
modelo PSG

- **<u>Governadores eletrônicos</u>**:

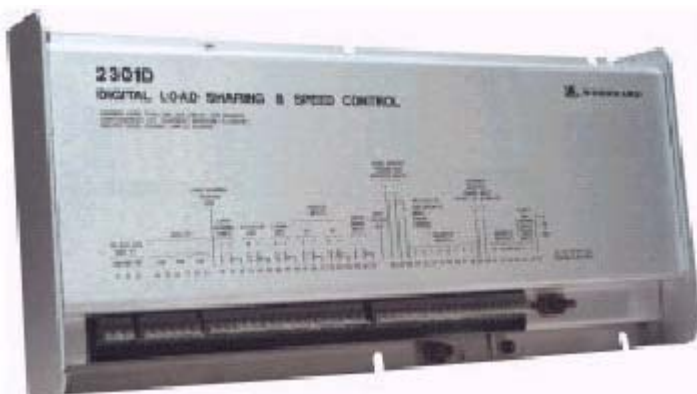
  Atualmente estão sendo utilizados em maior escala, dado o custo, que vem se reduzindo nos últimos anos. Oferecem a melhor precisão de regulação que se pode conseguir e são constituídos por três elementos básicos:

  1) – *Pick-up magnético*, que exerce a função de sensor de RPM;
  2) – *Regulador eletrônico, propriamente dito (ou unidade de controle*) e
  3) – *Atuador*.

  A construção pode variar, conforme o fabricante, mas todos funcionam segundo os mesmos princípios. O pick-up magnético é uma bobina enrolada sobre um núcleo ferromagnético e instalado na carcaça do volante, com a proximidade adequada dos dentes da cremalheira. Com o motor em funcionamento, cada dente da cremalheira, ao passar próximo ao pick-up magnético, induz um pulso de corrente elétrica que é captado pelo regulador. A quantidade de pulsos por segundo (freqüência) é comparada, pelo regulador, com o valor padrão ajustado. Se houver diferença, o regulador altera o fluxo de corrente enviada para o atuador, que efetua as correções do débito de combustível, para mais ou para menos, conforme necessidade. Há atuadores que trabalham ligados à haste de aceleração da bomba injetora, como nos governadores hidráulicos e outros que são instalados no interior da bomba e atuam diretamente sobre o fluxo de combustível. Os atuadores externos mais conhecidos são os fabricados pela Woodward, (governadores modelo EPG) e os internos são os utilizados nos motores Cummins (governador EFC).

Governador Eletrônico WOODWARD
modelo EPG - 12 ou 24 Volts

Governador Eletrônico CUMMINS modelo EFC.

- **Governadores Digitais**

Os governadores digitais utilizados atualmente, embora possam oferecer recurso de comunicação via porta serial e funções de controle PID (Proportional Integral Derivate), dependem de um atuador analógico para comandar as correções de RPM do motor, o que os torna iguais, em termos de resultados, aos governadores eletrônicos analógicos.

Governador Eletrônico Digital

Woodward 2301D

Load Sharing and Speed Control

Nos grupos geradores, assim como em outras aplicações, a variação de RPM é função da variação da carga e o tempo de correção também é proporcional à intensidade da mesma variação. No caso do veículo que sobe uma ladeira, o motorista aciona o pedal do acelerador para manter a rotação e vencer a subida. Nos grupos geradores, quem aciona o acelerador é o governador de rotações.

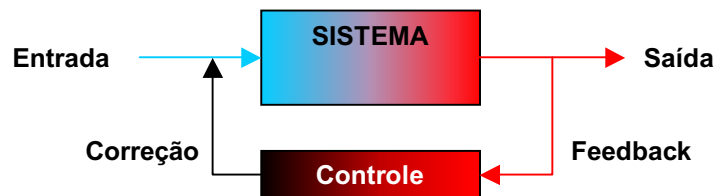
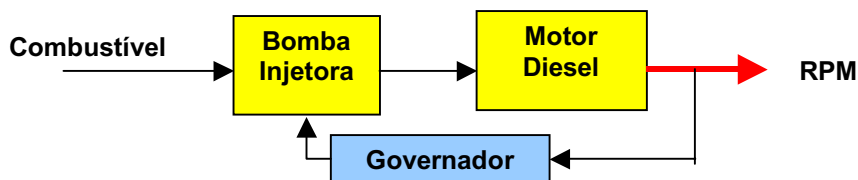
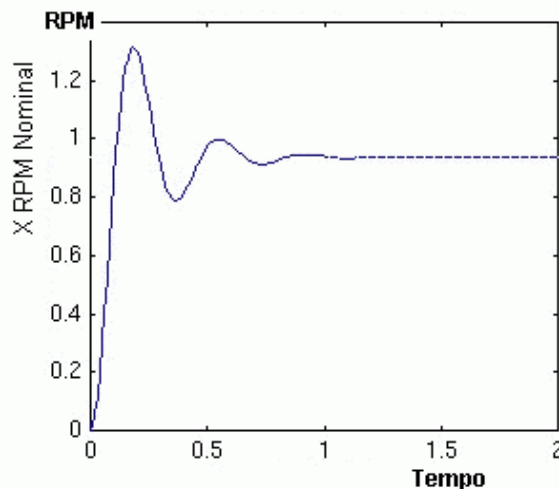
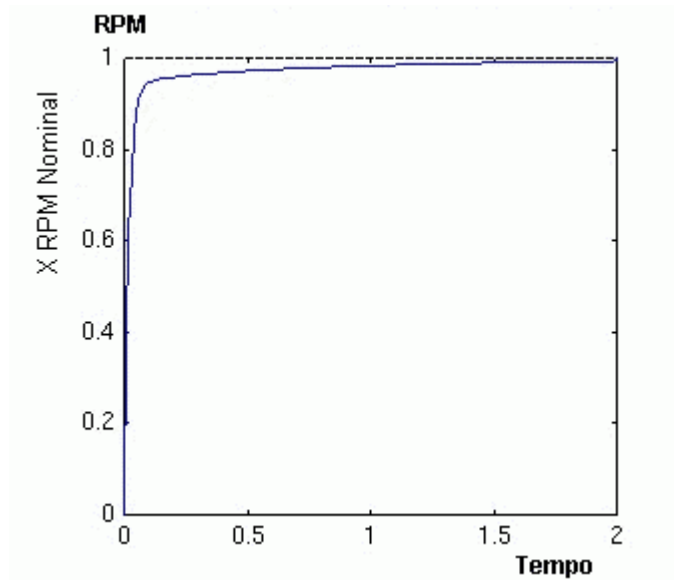
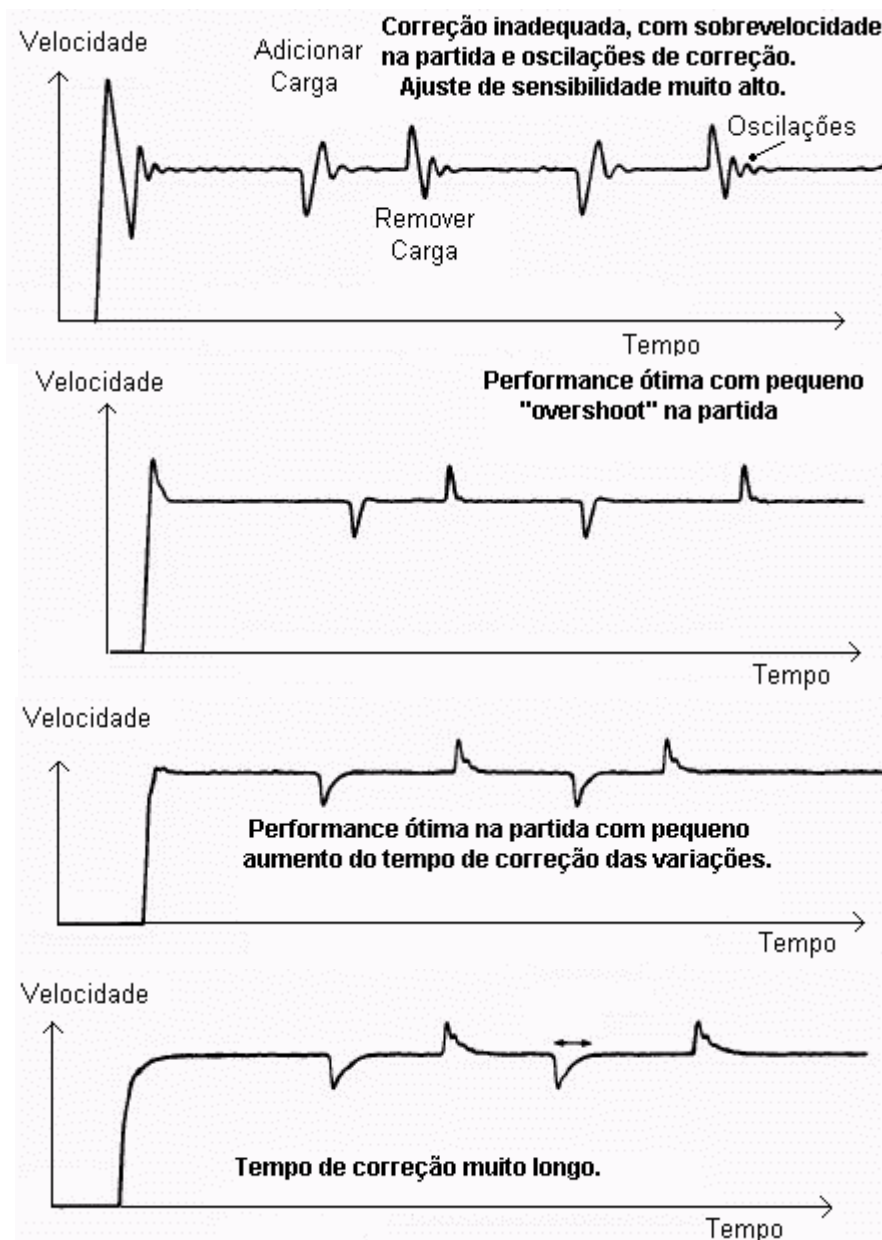
Os governadores são ditos isócronos quando asseguram rotação constante entre vazio e plena carga, corrigindo no menor tempo possível as variações de RPM. Por mais isócronos que possam ser, não podem corrigir instantaneamente as variações de rotação do motor, devido à inércia natural do sistema. É necessário, primeiro, constatar que houve uma variação de RPM para, em seguida, efetuar a correção.

O tempo de resposta é ajustado até um limite mínimo, a partir do qual o funcionamento do motor se torna instável, por excesso de sensibilidade. Neste ponto, é necessário retroceder um pouco até que a rotação se estabilize. Uma vez obtido o melhor tempo de resposta, a quantidade de RPM que pode variar dentro deste tempo depende da solicitação da carga. Uma grande variação brusca na carga induz uma variação

proporcional da RPM. Além da sensibilidade, é necessário ajustar o valor máximo que se pode permitir de queda ou de aumento de RPM, entre vazio e plena carga, que nem sempre pode ser zero RPM. Esta variação é conhecida como droop e é necessária, especialmente para grupos geradores que operam em paralelo (mais de um grupo Diesel-gerador alimentando a mesma carga).

Todos os governadores de rotação, atualmente, ajustam a quantidade de combustível por meios mecânicos. Utiliza-se sempre um dispositivo atuador, que nos governadores eletrônicos é acionado eletricamente, para fazer variar a quantidade de combustível injetada e corrigir a rotação para o valor nominal.

## CARACTERÍSTICAS DE REGULAÇÃO

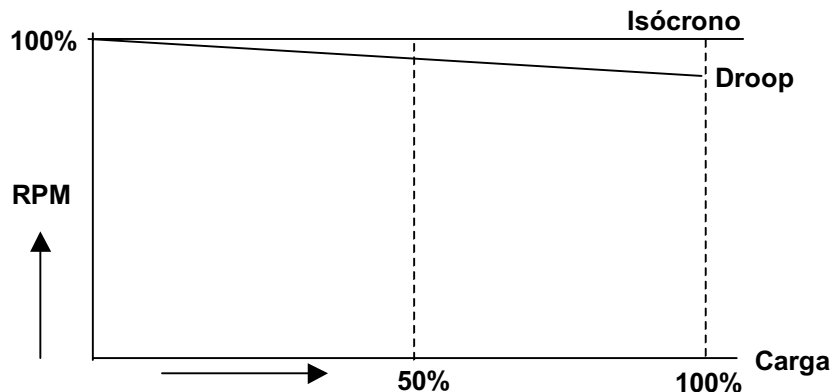
O problema de manter constante a velocidade do motor é o mesmo de qualquer sistema submetido a um controle para correção.

No grupo gerador, teríamos:

Com reguladores ou governadores ditos proporcionais, as correções das variações acontecem de forma semelhante à curva:

Com governadores digitais PID (Proportional Integral Derivate) as correções são semelhantes à curva:

Alguns exemplos de ajustes de governadores eletrônicos e digitais:

**DROOP:**

É a variação percentual entre as velocidades nominal em vazio e a final, com aplicação de 100% de carga. = $(RPM_{nom} - RPM_{fin}) / RPM_{nom}$

Por exemplo:

Rotação nominal em vazio: 1800 RPM

Com 100% de carga: 1740 RPM

Droop = (1800 – 1740) / 1800 = 0,0333.... ou 3,3%

Para os motores das próximas gerações, não serão mais necessários governadores de rotações, uma vez que bastará programar a ECU do sistema de injeção eletrônica para operar em rotação constante sob qualquer condição de carga ou com o droop desejado.

## 5 – O COMBUSTÍVEL

Motores Diesel precisam, para a auto-ignição e queima perfeita, de combustíveis de alto ponto de ignição.

A *pré-combustão* é a tendência do combustível à auto-ignição quando da injeção, no motor Diesel, e é característica importante para o desempenho do combustível, neste tipo de motor; é medida pelo índice de cetana.

O óleo Diesel é uma mistura de hidrocarbonetos com ponto de ebulição entre 200 e 360°C, obtido por destilação do petróleo por hidrogenação, síntese, ou craqueamento catalítico a baixas temperaturas. Tem poder calorífico médio (ou calor de combustão) de 11.000 Kcal / Kg.

O óleo Diesel comum, ou comercial, utilizado universalmente, embora atenda aos requisitos básicos em termos de características físicas e químicas, requer cuidado quanto ao manejo e utilização. A água, presente, em maior ou menor concentração, é o principal contaminante e deve sempre ser removida, por centrifugação ou filtragem especial com decantadores. Como os componentes das bombas e bicos injetores são construídos com folgas adequadas à lubrificação pelo próprio óleo Diesel, a presença de água os danifica imediatamente. Além de água, todo óleo Diesel tem um certo teor de enxofre, que não pode ser removido, do qual resulta, após a combustão, compostos nocivos à saúde. São as seguintes as características e especificações para o óleo Diesel adequado:

| PROPRIEDADE | ESPECIFICAÇÃO | MÉTODO DE TESTE EM LABORATÓRIO |
|---|---|---|
| Viscosidade | ASTM D-445 | 1,3 a 5,8 CentiStoke a 40°C |
| Numero de Cetana | ASTM D-613 | No mínimo 40, exceto em clima frio e serviço em marcha lenta por períodos prolongados, quando será necessário numero mais elevado. |
| Teor de Enxofre | ASTM D-129 ou 1552 | Não deve exceder a 1,0% em peso. |
| Teor de água e sedimentos | ASTM D-1796 | Não deve exceder a 0,1% em peso. |
| Resíduos de carbono | ASTM D524 ou D-189 | Não deve exceder a 0,25% em peso em 10% de resíduos. |
| Ponto de fulgor | ASTM D-93 | 52°C (125°F) mínimo. Algumas sociedades classificadoras exigem ponto de fulgor mais elevado. |
| Ponto de Névoa | ASTM D-97 | 12°C abaixo da temperatura esperada de operação. |
| Corrosão por enxofre ativo sobre lâmina de cobre | ASTM D- 130 | Não deve exceder o n° 2 após 3 horas a 50°C. |
| Teor de cinzas | ASTM D-482 | Não deve exceder a 0,02% em peso. |
| Destilação | ASTM D-86 | A curva de destilação deve ser suave e contínua. 98% do combustível deve evaporar abaixo de 360°C. Todo o combustível deve evaporar abaixo de 385°C. |

Os hidrocarbonetos não carburados (perdas na exaustão e por vazamentos nas vedações dos pistões), o formaldeído (reação parcial da mistura de combustível e ar), o monóxido de carbono, os óxidos nítricos (reação do ar com pressão e temperaturas elevadas) e todos os componentes de mau cheiro como a fuligem podem causar problemas. A importância dos componentes carcinógenos e tóxicos nos gases de escapamento é preocupação no mundo inteiro e vem sendo objeto de padrões e normas para a proteção ambiental.

## 6 – GASES DE ESCAPE - EMISSÕES

O processo de combustão é uma reação química de oxidação que se processa em altas temperaturas.

Nos motores em geral, o processo de combustão oxida uma parcela dos componentes que são admitidos no interior do cilindro. O combustível, principalmente os derivados de petróleo, é, na realidade uma mistura de hidrocarbonetos que contém também outros materiais, tais como enxofre, vanádio, sódio, potássio, etc. Por outro lado, o ar, utilizado como comburente, é uma mistura de gases diversos, como sabemos. O oxigênio contido no ar é o que realmente interessa ao processo de combustão. Os demais gases, como o nitrogênio, ao se combinarem com alguns outros componentes do combustível, podem produzir compostos indesejáveis, os quais são lançados na atmosfera, misturando-se ao ar que respiramos. Alguns desses compostos, como o $SO_2$, são prejudiciais e atualmente são objeto de preocupação mundial. As organizações internacionais, como a EPA, nos Estados Unidos, o CONAMA, do Brasil e outras entidades, vem estabelecendo padrões para controle

dos níveis de emissões desses poluentes e, se considerarmos os milhões de motores que existem no planeta, emitindo milhões de toneladas desses produtos diariamente, veremos que, realmente, existem motivos para preocupações.

Para os automóveis, na Europa já é obrigatório o uso de catalisadores e no Brasil essa obrigação será estabelecida em futuro próximo. Os DETRAN já estão equipados com os equipamentos de medição de emissões e, nos próximo anos, não mais serão licenciados veículos com altos níveis de emissões. Os motores Diesel produzidos atualmente necessitam atender a limites estabelecidos em normas internacionais, sendo esses limites, periodicamente, reduzidos a fim de obrigar os fabricantes a desenvolverem motores capazes de produzirem potência com o máximo aproveitamento do combustível e o mínimo de emissões. Como ilustração, vide abaixo tabela de emissões de um motor Diesel novo, em boas condições de operação e aprovado em testes de emissões:

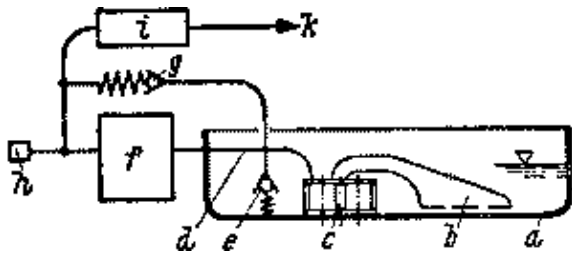
| | | |
|---|---|---|
| **HC** | Hidrocarbonetos não queimados | 2,40 |
| **$NO_x$** | Óxidos de Nitrogênio como $N_2$ | 11,49 |
| **CO** | Monóxido de Carbono | 0,40 |
| **PM** | Material particulado | 0,50 |
| **$SO_2$** | Anidrido Sulfuroso | 0,62 |
| **$CO_2$** | Gás Carbônico | 510 |
| **$N_2$** | Nitrogênio | 3.400 |
| **$O_2$** | Oxigênio | 490 |
| **$H_2O$** | Vapor d'água | 180 |

Os valores são expressos em gramas/HPh

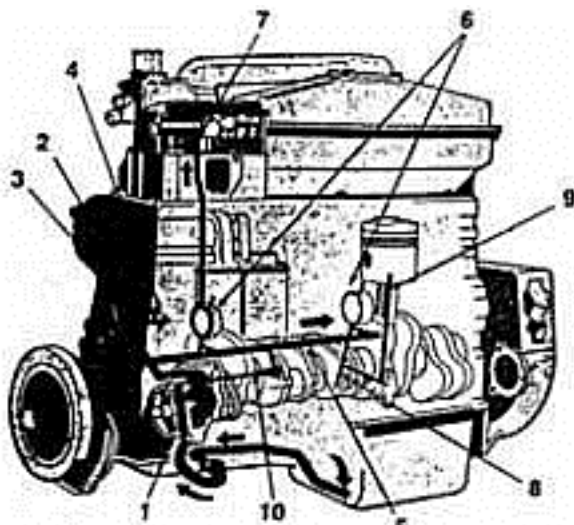
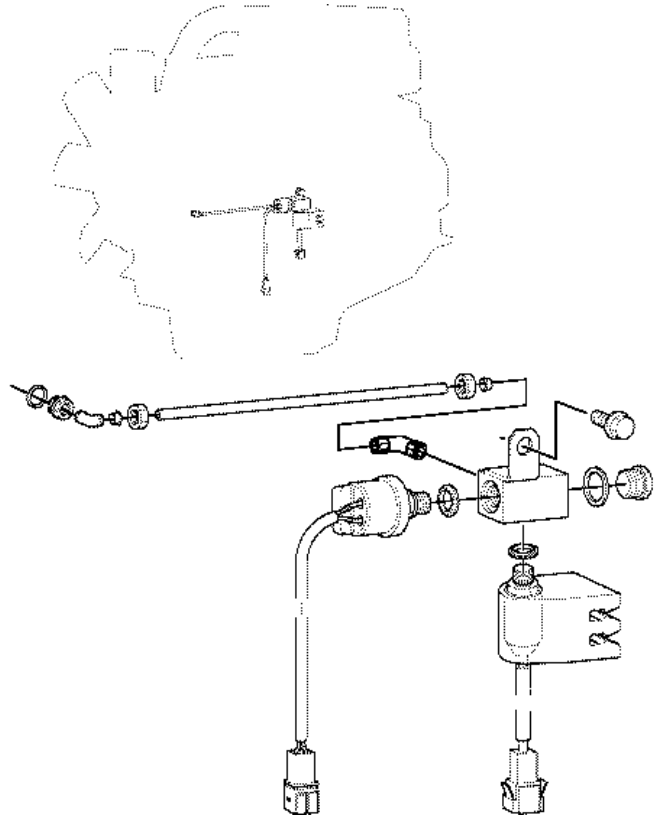
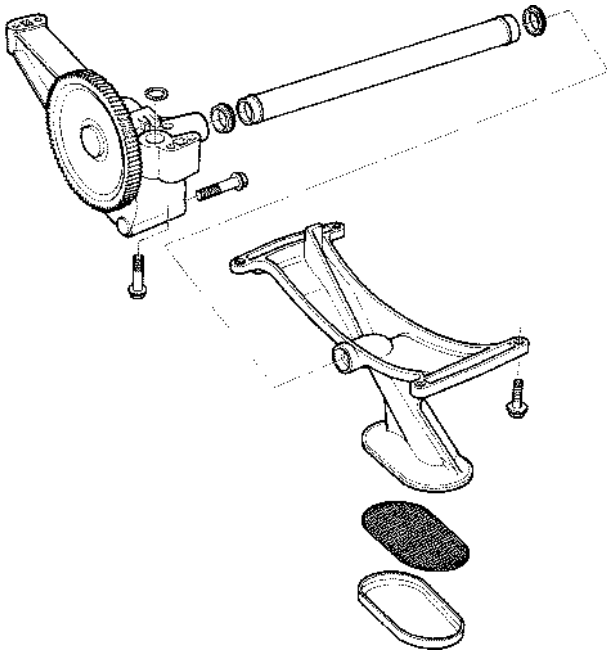
Para saber mais sobre as limitações de emissões, consulte a Resolução CONAMA n° 001 de 08/03/90 e veja a norma brasileira NBR14489 – Motor Diesel – Análise e determinação dos gases e do material particulado emitidos por motores do ciclo Diesel – ciclo de 13 pontos, publicada pela ABNT em 04/2000.

## 7 – LUBRIFICAÇÃO DO MOTOR DIESEL

O sistema de lubrificação do motor Diesel é dimensionado para operar com um volume de óleo lubrificante de 2 a 3 litros por litro de cilindrada do motor e vazão entre 10 e 40 litros por Cavalo-hora, conforme o projeto do fabricante. Os componentes básicos do sistema de lubrificação, encontrados em todos os motores Diesel, são:

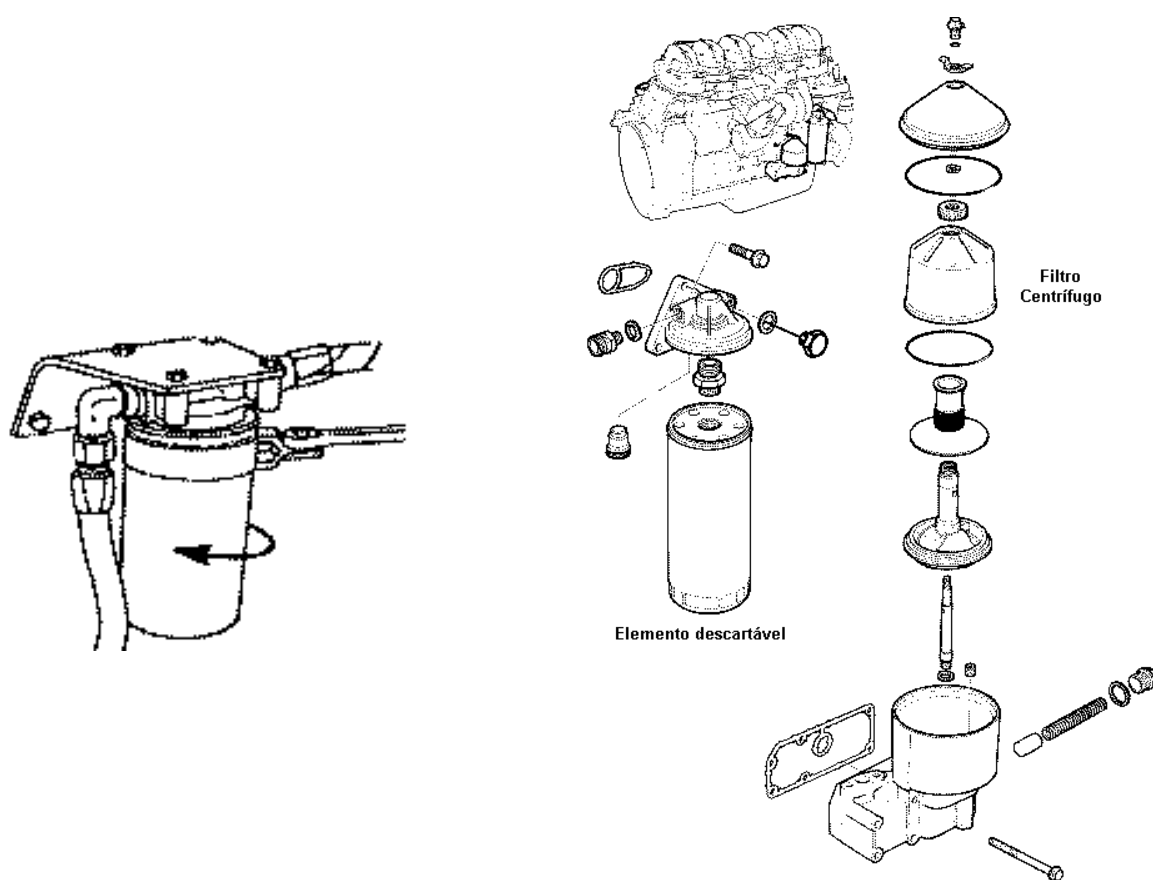
- – Cárter de óleo, montado sob o bloco, dotado de capacidade adequada à potência do motor;
- – Bomba de circulação forçada, geralmente do tipo de engrenagem, acionada pela árvore de manivelas do motor;
- – Regulador de pressão (geralmente uma válvula na própria bomba);
- – Trocador de calor do óleo lubrificante;
- – Filtro(s) de fluxo integral e de desvio e
- – Acessórios, tais como sensores de pressão, pressostatos e manômetro.

**Sistema de lubrificação:**

***a*** = cárter de óleo, ***b*** = “pescador” com filtro de tela; ***c*** = bomba; ***d*** = linha de pressão; ***e*** = válvula para limitação da pressão; ***f*** = filtro de fluxo total; ***g*** = linha de derivação (“bypass” para o filtro auxiliar); ***h*** = indicador de pressão ou comutador de segurança; ***i*** = trocador de calor e ***k*** = linha para o motor.

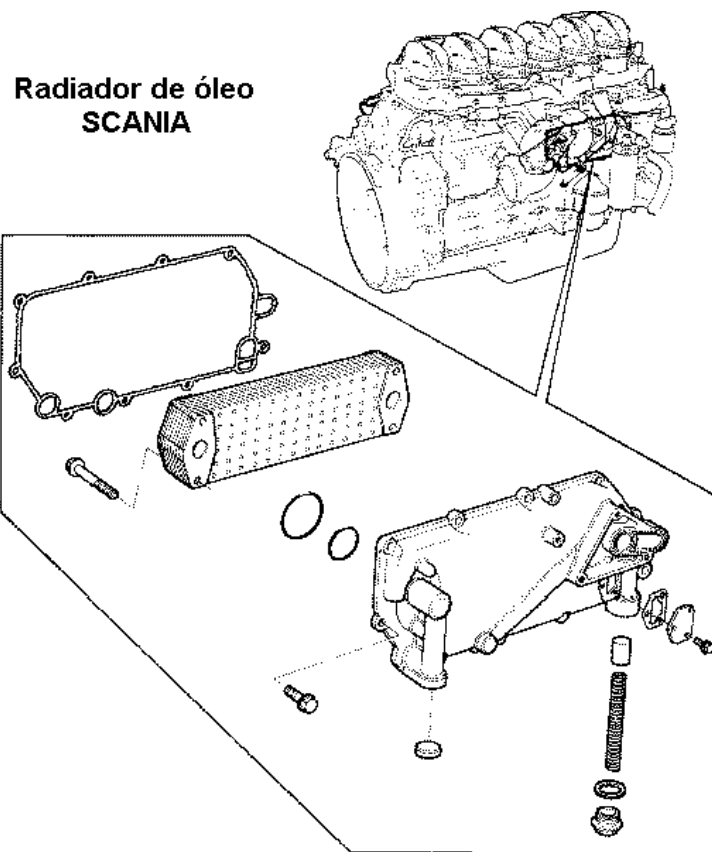
Bomba de óleo lubrificante e montagem do sensor de pressão SCANIA

**Sistema de Lubrificação do motor Cummins Série N/NT/NTA-855**.

1. Bomba de óleo
2. Para o arrefecedor de óleo
3. Saindo do arrefecedor de óleo
4. Bico pulverizador de arrefecimento do pistão
5. Galeria principal de óleo
6. Buchas da árvore de comando
7. Lubrificação para a parte superior do motor
8. Mancais principais
9. Passagem para lubrificação das bielas
10. Linha sinalizadora da pressão do óleo na galeria principal.

## 7.1 – FILTROS

Os filtros, na maioria dos casos, são do tipo cartucho de papel descartável e devem ser substituídos a cada troca do óleo lubrificante, nos períodos recomendados pelo fabricante do motor. Atualmente, o tipo mais utilizado é o "spin-on", atarrachante. O filtro de fluxo integral é dotado de uma válvula acionada por pressão diferencial que, em caso de entupimento do elemento, abre-se, deixando circular o óleo sem filtrar, não permitindo que o motor trabalhe sem circulação de lubrificante. Nem sempre é vantajoso utilizar o elemento de filtro mais barato. Aparentemente, todos os elementos de filtro disponíveis no mercado (e são muitos) são iguais. Entretanto, há diferenças imperceptíveis que devem ser consideradas. Como não é possível, para o consumidor fazer testes de qualidade dos filtros aplicados nos motores que utiliza, é recomendável que se adquiram somente elementos de filtro que sejam homologados pelos fabricantes de motores, os quais já efetuarem os testes de qualidade apropriados. São conhecidos como marcas de primeira linha e, em geral, equipam motores que saem da linha de montagem.

**Filtros de lubrificante SCANIA**

## 7.2 – TROCADOR DE CALOR

O trocador de calor (ou radiador de óleo) tem a finalidade de transferir calor do óleo lubrificante, cuja temperatura não pode ser superior a 130°C, para o meio refrigerante utilizado no motor. Nos motores refrigerados a ar o trocador de calor é instalado na corrente de ar. A transferência de calor para o refrigerante é de aproximadamente 50 Kcal / CVh para os motores refrigerados a água e de 100 Kcal / CVh nos motores com refrigeração a ar.

## 7.3 – ÓLEO LUBRIFICANTE

O óleo lubrificante está para o motor assim como o sangue está para o homem. Graças ao desenvolvimento da tecnologia de produção de lubrificantes, é possível, atualmente, triplicar a vida útil dos motores pela simples utilização do lubrificante adequado para o tipo de serviço. Os óleos lubrificantes disponíveis no mercado são classificados primeiro, pela classe de viscosidade SAE (Society Of Automotive Engineers) e a seguir, pela classe de potência API (American Petroleum Institute).

A característica mais importante do óleo lubrificante é a sua viscosidade, que é a resistência interna oferecida pelas moléculas de uma camada, quando esta é deslocada em relação a outra; é o resultado de um atrito interno do próprio lubrificante. Existem vários aparelhos para medir a viscosidade. Para os óleos lubrificantes utilizados em motores, é adotado o Viscosímetro Saybolt Universal.

O sistema Saybolt Universal consiste em medir o tempo, em segundos, do escoamento de 60 ml de óleo, à determinada temperatura. A indicação da viscosidade é em SSU (Segundos Saybolt Universal). As temperaturas padronizadas para o teste são 70°, 100°, 130° ou 210°F, que correspondem, respectivamente, a 21,1°C, 37,8°C, 54,4°C e 89,9°C. Em essência, consiste de um tubo de 12,25 mm de comprimento e diâmetro de 1,77 mm, por onde deve escoar os 60 ml de óleo.

### 7.3.1 - CLASSIFICAÇÕES

A SAE estabeleceu a sua classificação para óleos de cárter de motor segundo a tabela:

| N° SAE | VISCOSIDADE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SSU a 0° F | | SSU a 210 ° F | |
| | *Mínimo* | *Máximo* | *Mínimo* | *Máximo* |
| 5 w | - | 4.000 | - | - |
| 10 w | 6.000 | < 12.000 | - | - |
| 20 w | 12.000 | 48.000 | - | - |
| 20 | | | 45 | < 58 |
| 30 | | | 58 | < 70 |
| 40 | | | 70 | < 85 |
| 50 | | | 85 | < 110 |

A letra w (Winter = inverno) indica que a viscosidade deve ser medida a zero grau Farenheit. Observa-se que o número SAE não é um índice de viscosidade do óleo, mas sim uma faixa de viscosidade a uma dada temperatura; exemplificando, um óleo SAE 30 poderá ter uma viscosidade a 210 °F entre 58 e 70 SSU.

O API classificou os óleos lubrificantes, designando-os segundo o tipo de serviço. As classificações API, encontradas nas embalagens dos óleos lubrificantes, são:

– **ML** (*Motor Light*).

Óleos próprios para uso em motores a gasolina que funcionem em serviço leve; tais motores não deverão ter características construtivas que os tornem propensos à formação de depósitos ou sujeitos à corrosão dos mancais.

– **MM** (*Motor Medium*)

Óleos próprios para motores a gasolina, cujo trabalho seja entre leve e severo; tais motores poderão ser sensíveis à formação de depósitos e corrosão de mancais, especialmente quando a temperatura do óleo se eleva, casos em que se torna indicado o uso de óleos motor medium.

– **MS** (*Motor Severe*)

Óleos indicados para uso em motores a gasolina sob alta rotação e serviço pesado, com tendência à corrosão dos mancais e à formação de verniz e depósitos de carbono, em virtude não só de seus detalhes de construção como ao tipo de combustível.

– **DG** (*Diesel General*)

Óleos indicados para uso em motores Diesel submetidos a condições leves de serviço, nos quais o combustível empregado e as características do motor tendem a não permitir o desgaste e a formação de resíduos.

– **DM** (*Diesel Medium*)

São óleos próprios para motores Diesel funcionando sob condições severas, usando, além disso, combustível tendente a formar resíduos nas paredes dos cilindros – sendo, porém, as características do motor tais, que o mesmo é menos sensível à ação do combustível do que aos resíduos e ao ataque do lubrificante.

– **DS** (*Diesel Severe*)

Óleos próprios para motores Diesel especialmente sujeitos a serviço pesado, onde tanto as condições do combustível quanto as características do motor se somam na tendência de provocar desgaste e formar resíduos.

Com a finalidade de facilitar a escolha dos óleos pelo consumidor leigo, o API, com a colaboração da ASTM e SAE, desenvolveu o sistema de *classificação de serviço* indicado pela sigla "*S*" para os óleos tipo "Posto de Serviço" (Service Station) e C para os óleos tipo "*comercial*" ou para serviços de terraplanagem. Abaixo a classificação de serviço:

**AS** = Serviço de motor a gasolina e Diesel;
**SB** = Serviço com exigências mínimas dos motores a gasolina;
**SC** = Serviço de motor a gasolina sob garantia;
**SD** = Serviço de motores a gasolina sob garantia de manutenção;
**SE** = Serviço de motores a gasolina em automóveis e alguns caminhões;
**CA** = Serviço leve de motor Diesel;
**CB** = Serviço moderado de motor Diesel;
**CC** = Serviço moderado de motor Diesel e a gasolina e
**CD** = Serviço severo de motor Diesel.

Também as forças armadas americanas estabeleceram especificações para os óleos lubrificantes, que são encontradas nas embalagens comerciais como MIL-L-2104-B e MIL-L-2104C, para motores Diesel.

As diferenças entre os diversos tipos de lubrificantes residem nas substâncias adicionadas ao óleo para dotá-lo de qualidades outras. São os ***Aditivos***, que não alteram as características do óleo, mas atuam no sentido de reforçá-las. Os aditivos comumente usados são:

| FINALIDADE | TIPO DE COMPOSTO USADO |
|---|---|
| ***Atioxidantes ou inibidores de oxidação*** | Compostos orgânicos contendo enxofre, fósforo ou nitrogênio, tais como aminas, sulfetos, hidroxisulfetos, fenóis. Metais, como estanho, zinco ou bário, freqüentemente incorporados |
| ***Anticorrosivos, preventivos da corrosão ou "venenos" catalíticos*** | Compostos orgânicos contendo enxofre ativo, fósforo ou nitrogênio, tais como sulfetos, sais metálicos do ácido trifosfórico e ceras sulfuradas. |
| ***Detergentes*** | Compostos organo-metálicos, tais como fosfatos, alcoolatos, fenolatos. Sabões de elevado peso molecular, contendo metais como magnésio, bário e estanho. |
| ***Dispersantes*** | Compostos organo-metálicos, tais como naftenatos e sulfonatos. Sais orgânicos contendo metais com cálcio, cobalto e estrôncio. |
| ***Agentes de pressão extrema*** | Compostos de fósforo, como fosfato tricresílico, óleo de banha sulfurado, compostos halogenados. Sabões de chumbo, tais como naftenato de chumbo. |
| ***Preventivos contra a ferrugem*** | Aminas, óleos gordurosos e certos ácidos graxos. Derivados halogenados de certos ácidos graxos. Sulfonatos. |

| | |
|---|---|
| ***Redutores do ponto de fluidez*** | Produtos de condensação de alto peso molecular, tais como fenóis condensados com cera clorada. Polímeros de metacrilato. |
| ***Reforçadores do índice de viscosidade*** | Olefinas ou iso-olefinas polimerizadas. Polímeros butílicos, ésteres de celulose, borracha hidrogenada. |
| ***Inibidores de espuma*** | Silicones |

Como a viscosidade é a característica mais importante do óleo lubrificante, é natural que os centros de pesquisas do ramo dedicassem especial atenção a essa propriedade.

Sabe-se que todos os óleos apresentam uma sensibilidade à temperatura, no que concerne à viscosidade; alguns serão mais sensíveis que outros, observando-se que os óleos naftênicos sofrem mais a sua ação que os parafínicos.

Com o desenvolvimento técnico exigindo qualidades mais aprimoradas dos óleos, muitas vezes chamados a trabalhar em condições de temperatura bastante variáveis, tornou-se necessário conhecer bem as características viscosidade versus temperatura em uma faixa bastante ampla. A variação da viscosidade com a temperatura não é linear. Ou seja, não é possível estabelecer, a priori, quanto irá variar a viscosidade quando for conhecida a variação de temperatura.

Os estudos desenvolvidos nessa área até os dias atuais, levaram os fabricantes de lubrificantes a produzirem óleos capazes de resistirem às variações de temperatura, de forma a se comportarem como se pertencessem a uma classe de viscosidade a zero grau Farenheit e a outra classe a 210 graus Farenheit. Tais óleos são conhecidos como "*multigrade*" ou *multiviscosos*.

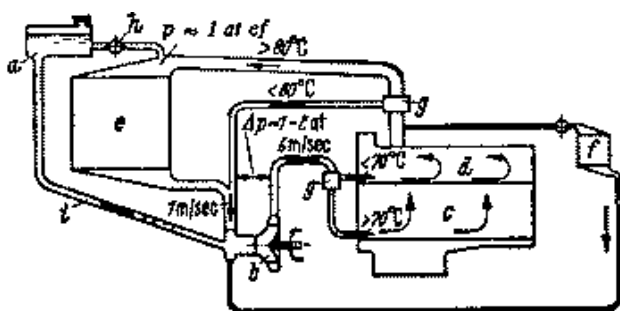
Os fabricantes de motores Diesel, também, como resultado das pesquisas que realizam, chegaram a desenvolver composições de óleos que hoje são encontradas a venda no mercado. A Caterpillar desenvolveu o óleo que hoje é comercializado com a classificação denominada "*Série – 3*", que é indicado para uso em motores Diesel turbo-alimentados e supera todas as classificações API. A Cummins desenvolveu um óleo fortemente aditivado com componentes sintéticos, que denominou de "*Premium Blue*", cuja licença de fabricação, nos Estados Unidos, já foi concedida à Valvoline. Sua principal característica é a alta durabilidade.

Atualmente, a melhor indicação para lubrificação dos motores Diesel que operam em temperaturas superiores a 14°F (-10°C), recai sobre os óleos *multiviscosos* (15w40 ou 20w40), que mantém durante o funcionamento do motor a viscosidade praticamente constante e são aditivados para preservar suas características durante um maior numero de horas de serviço.

## 8 – REFRIGERAÇÃO (OU ARREFECIMENTO)

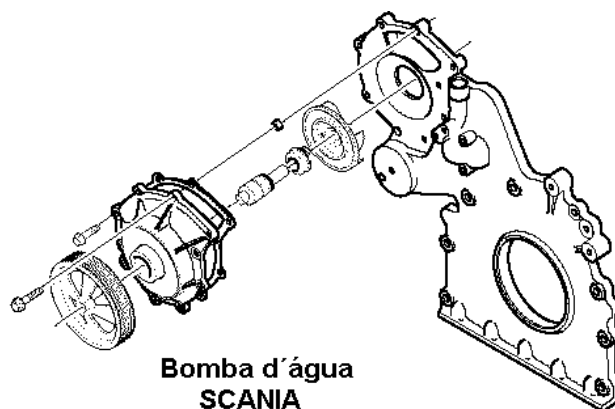
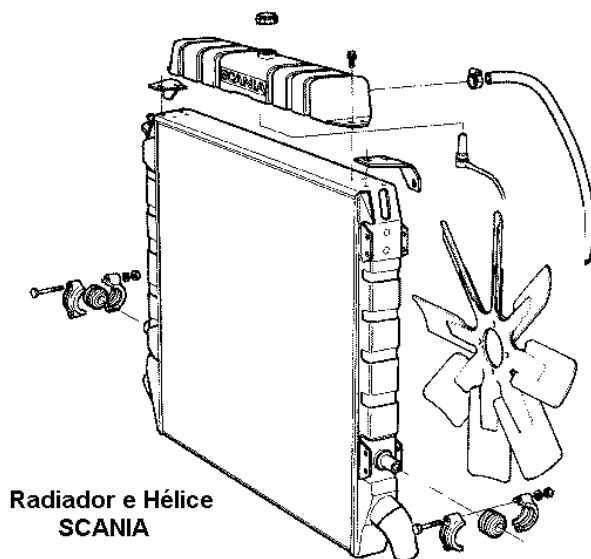
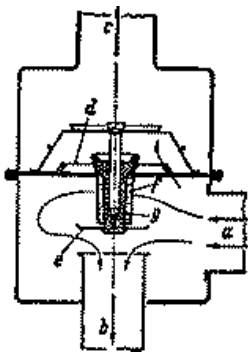
O meio refrigerante na maioria dos casos é água com aditivos para rebaixar o ponto de congelamento (por exemplo: etileno-glicol, recomendado para utilização em regiões mais frias) e para proteger contra a corrosão (óleos emulsionáveis ou compostos que, em contato com a água, tendem a formar películas plásticas). A quantidade do meio refrigerante é pequena (de 3 a 6 litros), para poder chegar rapidamente à temperatura de serviço; eventual reserva é feita no radiador e tanque de expansão.

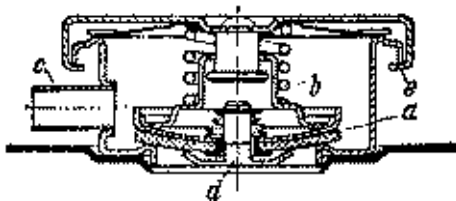
O rebaixamento da temperatura da água no radiador é da ordem de 5°C. As bolhas de vapor que se formam nos pontos de pressão mais baixa (antes da bomba) devem ser eliminadas através da linha "***i***" e, chegando ao tanque de expansão "***a***", se condensam. A

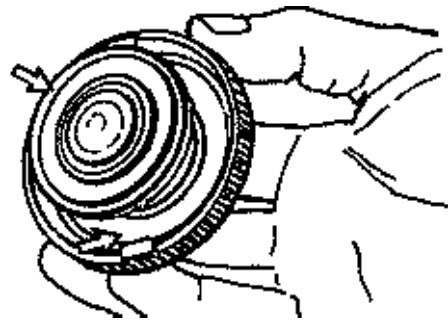
capacidade de pressão da bomba centrífuga é de 10 a 20 m de elevação e a quantidade de água em circulação é proporcional à velocidade. O fluxo do meio de refrigeração é controlado por válvula(s) termostática(s).

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO (OU DE ARREFECIMENTO) DO MOTOR DIESEL (Típico)

***a*** = reservatório com tampa de alimentação (tanque de expansão); ***b*** = bomba centrífuga; ***c*** = bloco do motor; ***d*** = cabeçote(s) dos cilindros; ***e*** = radiador; ***f*** = trocador de calor; ***g*** = válvula termostática; ***h*** = válvula manual para alimentação; ***i*** = eliminação das bolhas de vapor. As temperaturas (em °C) de abertura das válvulas termostáticas estão assinaladas nas circulações correspondentes.

**Radiador e Hélice**
**SCANIA**

**Bomba d´água**
**SCANIA**

É falsa a idéia de que a eliminação da válvula termostática melhora as condições de refrigeração do motor. Muitos mecânicos, ao se verem diante de problemas de superaquecimento do motor, eliminam a válvula termostática, permitindo que o motor trabalhe abaixo das temperaturas ideais em condições de poucas solicitações e, quando sob regime de maior rotação e carga, não disponha da quantidade suficiente de água para troca de calor. A pressão interna do sistema é controlada pela válvula existente na tampa do radiador (ou do tanque de expansão) que, em geral, é menor que 1,0 at. Pressões entre 0,5 e 1,0 at, permitem o dimensionamento do radiador com menor capacidade, entretanto, com pressões nesta faixa, as juntas e vedações ficam submetidas a solicitações mais elevadas. É necessário manter a pressurização adequada do sistema de refrigeração, de acordo com as recomendações do fabricante do motor, pois baixas pressões proporcionam a formação de bolhas e cavitação nas camisas dos cilindros. Os cabeçotes devem receber um volume adequado de água, mesmo com temperaturas baixas, para não comprometer o funcionamento das válvulas de admissão e escapamento. Normalmente, a pressão de trabalho do sistema de arrefecimento encontra-se estampada na tampa do radiador. Ao substituir a tampa, é necessário utilizar outra de mesma pressão.

VÁLVULA TERMOSTÁTICA PARA REGULAÇÃO DO FLUXO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO.

***a*** = afluxo; ***b*** = saída fria; ***c*** = saída quente; ***d*** = prato da válvula do lado quente com frestas de vedação para deixar escapar o ar durante o abastecimento; ***e*** = prato da válvula lado frio; ***f*** = enchimento de cera; ***g*** = vedação de borracha; o curso da válvula depende da variação de volume do material elástico (cera) durante a fusão ou solidificação.

TAMPA DO RADIADOR COM VÁLVULAS DE SOBRE-PRESSÃO E DE DEPRESSÃO.

***a*** = válvula de sobre-pressão; ***b*** = molas de a; ***c*** = tubo de descarga; ***d*** = válvula de depressão; ***e*** = tampa.

## 8.1 – ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

A água do sistema de refrigeração do motor deve ser limpa e livre de agentes químicos corrosivos tais como cloretos, sulfatos e ácidos. A água deve ser mantida levemente alcalina, com o valor do PH em torno de 8,0 a 9,5. Qualquer água potável que se considera boa para beber pode ser tratada para ser usada no motor. O tratamento da água consiste na adição de agentes químicos inibidores de corrosão, em quantidade conveniente, geralmente por meio de um filtro instalado no sistema, conforme recomendado pelo fabricante. A qualidade da água não interfere no desempenho do motor, porém a utilização de água inadequada, a longo prazo, pode resultar em danos irreparáveis. A formação de depósitos sólidos de sais minerais, produzidos por água com elevado grau de dureza, que obstruem as passagens, provocando restrições e dificultando a troca de calor, são bastante freqüentes. Água muito ácida pode causar corrosão eletrolítica entre materiais diferentes.

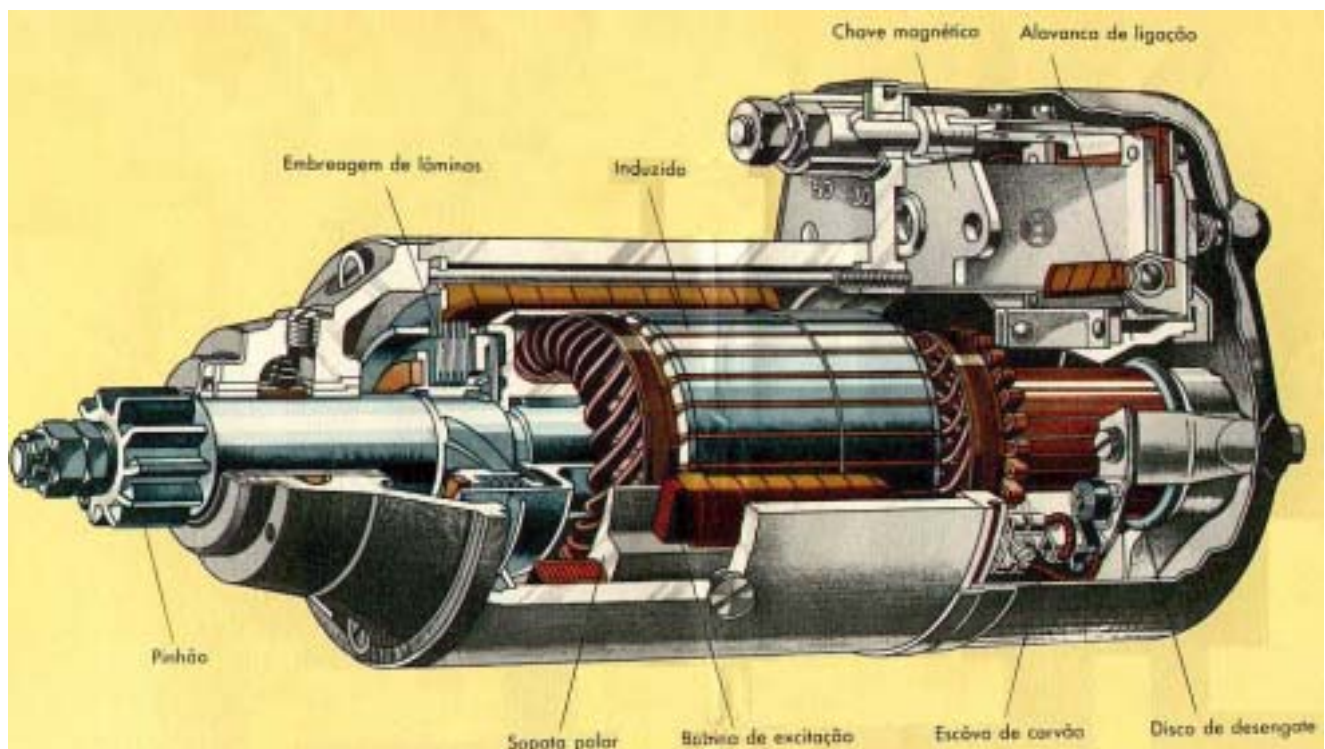
O tratamento prévio da água deve ser considerado quando, por exemplo, for encontrado um teor de carbonato de cálcio acima de 100 ppm ou acidez, com PH abaixo de 7,0.

O sistema de arrefecimento, periodicamente, deve ser lavado com produtos químicos recomendados pelo fabricante do motor. Geralmente é recomendado um "flushing" com solução a base de ácido oxálico ou produto similar, a cada determinado numero de horas de operação.

## 9 – SISTEMA DE PARTIDA

Os dispositivos de partida do motor Diesel podem ser elétricos, pneumáticos ou a mola. A partida elétrica é empregada na maioria dos casos. Utiliza-se se a partida pneumática ou a mola, onde, por qualquer motivo, não seja viável a utilização de partida elétrica, que é o meio de menor custo. A partida a mola só é aplicável em motores Diesel de menor porte, abaixo de 100 CV. Para motores Diesel de grande cilindrada, a partida a ar comprimido é feita por meio da descarga de certa quantidade de ar sob alta pressão em um cilindro

predefinido, cujo êmbolo é posicionado próximo ao PMS para receber o primeiro impulso. Ao deslocar-se rapidamente em sentido descendente, faz com que em outros cilindros os êmbolos atinjam o PMS do tempo de compressão e recebam injeção de combustível, iniciando o funcionamento. Nos motores de menor porte, pode-se instalar um motor de partida a ar comprimido, que funciona de modo similar ao motor elétrico. Geralmente esta solução é adotada em ambientes onde, por motivo de segurança, não se permitam o uso de componentes elétricos que possam produzir faíscas.

A potência do motor de partida para os motores Diesel varia de 0,6 a 1,2 CV por litro de cilindrada do motor Diesel. (Valores mais baixos para motores de maior cilindrada e vice-versa). Devido ao consumo de energia durante as partidas, os motores Diesel, atualmente, até cerca de 200 CV, utilizam sistema elétrico de 12 Volts. Para os motores maiores, utiliza-se sistemas de 24 Volts. O motor de partida é dotado de um pinhão na extremidade do eixo (geralmente com 9, 10 ou 11 dentes), montado sobre ranhuras helicoidais que permitem o seu movimento no sentido axial. Este mecanismo é normalmente denominado "Bendix". Quando o motor de partida é acionado, o pinhão avança sobre as ranhuras helicoidais e acopla-se à uma engrenagem instalada na periferia do volante, conhecida como *cremalheira do volante*, que, na maioria dos motores, tem 132 dentes. (Existem motores com relação cremalheira / pinhão de até 20 : 1). O movimento do pinhão arrasta o volante fazendo com que a árvore de manivelas do motor comece a girar. Nos motores Diesel em boas condições, entre 80 e 120 rpm já há pressão de compressão suficiente para a auto-ignição e o início de funcionamento, embora existam motores que necessitam de até 350 rpm para partir. Ao iniciar o funcionamento, o motor aumenta a rotação por seus próprios meios e tende a arrastar o motor de partida, porém, como o pinhão está encaixado nas ranhuras helicoidais, ele é forçado a recuar, desacoplando-se da cremalheira do volante e, até que o operador libere a chave de partida, o motor de partida irá girar em vazio.

Motores Diesel antigos utilizam dispositivos auxiliares de partida. Os motores modernos só necessitam desses dispositivos quando operando em ambientes de baixas temperaturas (menos de zero °C). São vários os recursos auxiliares de partida a frio. O mais utilizado atualmente é a injeção de produtos voláteis (éter, por exemplo) no coletor de admissão. Mas

há motores que são dotados de eletrodos incandescentes, que são alimentados pela(s) bateria(s) durante a partida, para auxiliar o início de funcionamento.

## 9.1 – BATERIAS

A potência e a capacidade dependem do motor de partida, da duração e freqüência das partidas e dos dispositivos auxiliares que permanecem ligados, tais como lâmpadas de sinalização, aparelhos de rádio, calefação, etc..

A capacidade das baterias para motores Diesel varia de 84 a 270 Ah com 12 V (1.000 a 3.000 Wh) referidos a um período de 20 horas com 27°C. As baterias de chumbo tem um conteúdo de energia de ≈ 35 Wh/kg (≈ 30 kcal/kg ou ≈ $10^4$ kpm/kg). A capacidade e a tensão de descarga diminuem rapidamente com a temperatura em declínio. A descarga espontânea é de 0,5 até 1,0% da capacidade nominal por dia.

A temperatura da bateria não deve ultrapassar a 60°C. A bateria deve ser colocada o mais próximo possível do motor de partida (os cabos custam caro); deve haver possibilidade de eliminação dos vapores ácidos. A densidade do ácido sulfúrico diluído é de 1,28 kg/$dm^3$.

As baterias de aço (alcalinas) são mecânica e eletricamente menos sensíveis. Sua descarga espontânea é menor. Tem a desvantagem de uma tensão de descarga inferior a 1,25 V (comparada a 2,0 V); sua tensão de carga é de 1,7 até 1,75 V. Seu preço é mais elevado.

É necessário verificar periodicamente o nível do eletrólito das baterias e, quando necessário, completar com água destilada. Em nenhuma hipótese, adicionar água comum ou ácido para corrigir a densidade. Quando a bateria trabalha com nível baixo de eletrólito ocorre o empenamento de uma ou mais placas, com perda total da mesma. Os terminais das baterias devem ser mantidos limpos e untados com vaselina neutra, para impedir a formação de crostas de óxidos. Quando necessário, limpar os terminais com uma solução de bicarbonato de sódio para remover os depósitos de óxidos. O controle da densidade do eletrólito, por meio de um densímetro, fornece indicações quanto ao estado de carga das baterias. Quando um dos elementos apresentar densidade mais baixa que os outros, provavelmente este elemento está com uma placa empenada e a bateria torna-se incapaz de se manter carregada, devendo ser substituída.

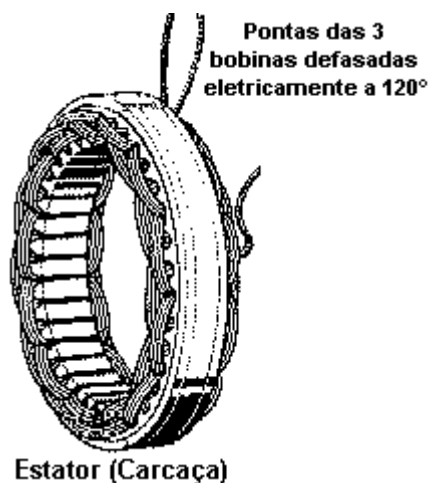
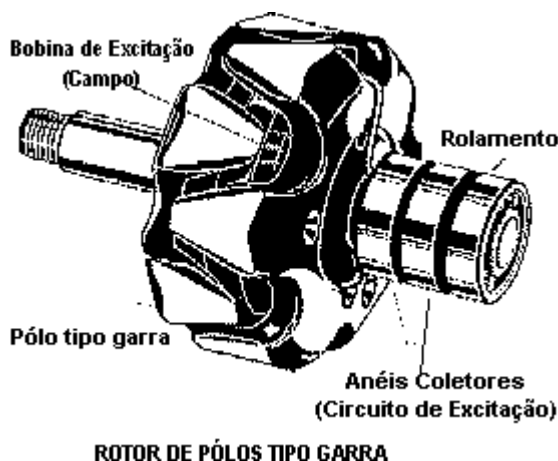
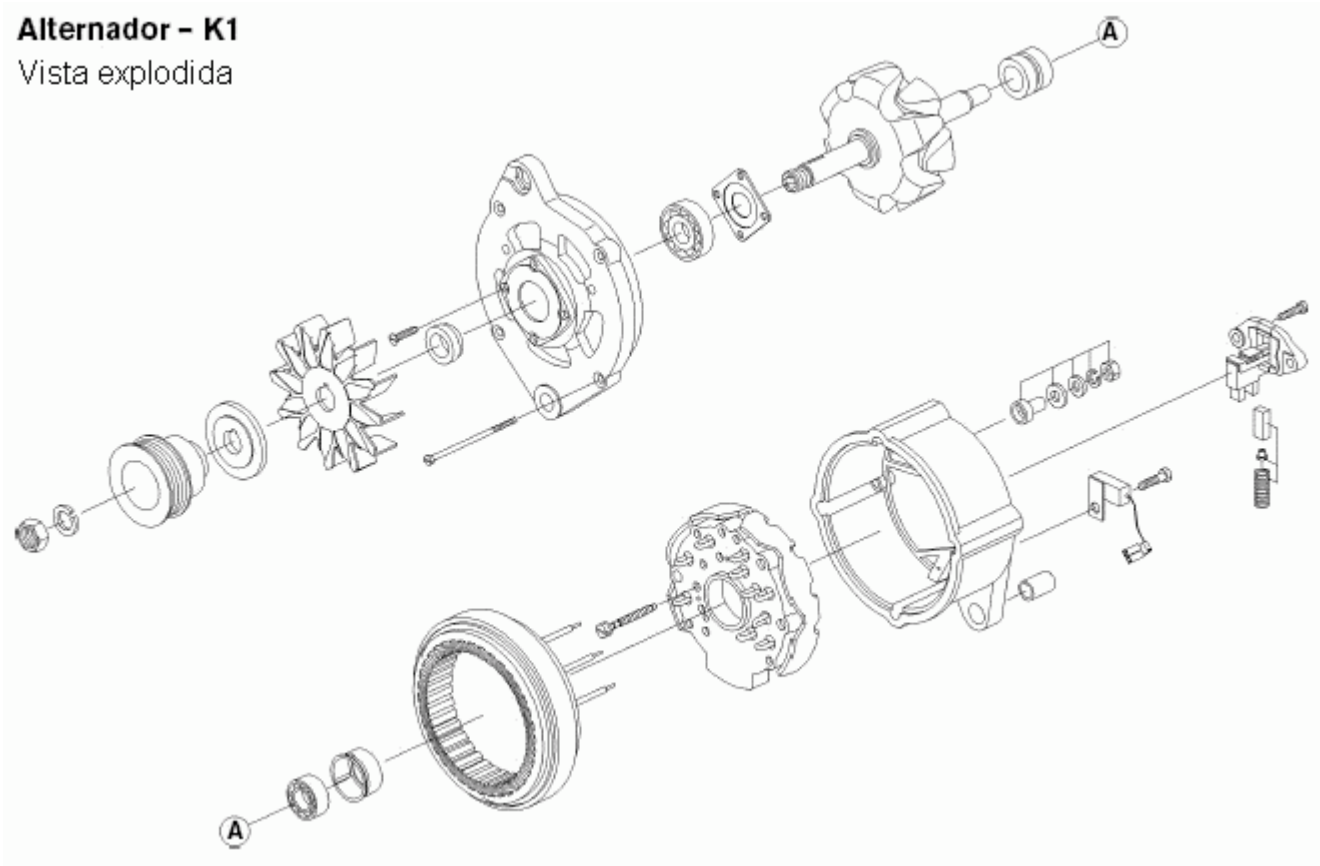
## 9.2 – COMPONENTES ELÉTRICOS

Alguns motores Diesel, especialmente os aplicados em grupos Diesel-geradores, são dotados de um dispositivo elétrico de parada, em geral, um solenóide, que dependendo do fabricante e tipo do motor, trabalham com alimentação constante ou, em alguns casos, são alimentadas somente no momento de parar o motor Diesel. Este dispositivo, na maioria dos grupos geradores, está interligado a outros componentes de proteção, que serão vistos adiante. Há também motores equipados com ventilador acionado por embreagem eletromagnética, que, controlada por um termostato, ligam quando a temperatura da água aumenta.

Para manter as baterias em boas condições de funcionamento é necessário repor a energia consumida pelo motor de partida, solenóide de parada e demais consumidores. Em alguns casos, como nos grupos geradores de emergência, um carregador/flutuador automático alimentado pela rede elétrica local mantém as baterias em carga durante o tempo em que o motor permanece parado. Nestas condições, as baterias estarão permanentemente carregadas. Quando não se dispõe deste recurso, a carga das baterias é feita pelo gerador

de carga, que nos motores atuais é o alternador. (É possível ainda se encontrar motores antigos que utilizam dínamo para carregar as baterias).

O alternador é um gerador de corrente alternada trifásica, dotado de uma ponte retificadora. O campo de excitação é regulado pelo nível de carga das baterias, devendo-se evitar sobrecarga do alternador ao recarregar baterias completamente descarregadas. A regulação de tensão é feita por um regulador automático transistorizado. A potência do alternador é determinada pelos receptores (iluminação, ventilador, parada, etc.) e também pelo tamanho da bateria, a freqüência de faixas desvantajosas de velocidades no programa de marcha do motor (no trânsito urbano mais que 50% do tempo pode ser em marcha em vazio) e ainda a freqüência de partidas. Nos motores de médio porte, a potência do alternador situa-se entre 800 e 1.300 W (35 e 55 A). Deve-se evitar o funcionamento do alternador em vazio, desconectado dos terminais das baterias, pois nessas situações o regulador automático de tensão não atua e o alternador poderá gerar picos de tensão capazes de danificar os retificadores. Em alguns motores, o alternador funciona como esticador da correia que aciona também a bomba d'água. Em outros casos o alternador é acionado por uma correia independente. Em todos os casos, a tensão da correia deve ser verificada periodicamente e ajustada sempre que necessário. Sua potência máxima está diretamente relacionada com a temperatura das bobinas do estator, que não deve ser superior a 90°C.

A lâmpada piloto indicadora de carga da(s) bateria(s) existente no painel de instrumentos, com o motor parado e a chave ligada, permanece acesa. Quando o alternador começa a gerar corrente, ela se apaga. Durante o período em que se encontra acesa, a pouca corrente elétrica que flui através do filamento alimenta o campo do alternador, para que seja possível iniciar o processo de geração de tensão, uma vez que o magnetismo remanente do alternador é muito baixo. Portanto, com a lâmpada queimada, o alternador não terá a fonte externa de excitação inicial e poderá não funcionar. A seguir, esquemas do alternador Bosch tipo K1.

**Alternador BOSCH K1**

## 10 – ELEMENTOS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO – COMPARAÇÃO DE MOTORES

Para se comparar os desempenhos dos motores, os seguintes elementos são geralmente considerados:

1 – Consumo específico de combustível (lb./HP.h ou g/CV.h)

2 – Pressão média efetiva (lb./in² ou Kg/cm²)

3 – Relação peso/potência (peso do motor/BHP)

4 – Potência por unidade de cilindrada (BHP/in³ ou BHP/cm³)

A comparação depende do fim a que se destina o motor. Para motores de aviação, por exemplo, os elementos 1 e 3 podem ser os mais significativos enquanto para um motor estacionário, o consumo específico de combustível é de importância fundamental.

## 11 – POTÊNCIA MECÂNICA X POTÊNCIA ELÉTRICA

Quando se fala de potência elétrica, é necessário ter em mente a diferença entre *POTÊNCIA APARENTE* e *POTÊNCIA ATIVA*. A potência aparente é aquela necessária para que, com determinados valores de tensão e fluxo de corrente, um certo consumidor funcione corretamente. A potência ativa é a potência efetivamente consumida ou transformada pelo mesmo consumidor. A relação entre as duas potências é definida como fator de potência e conhecida como:

$cos\varphi = kW \div KVA$ Ou $kW = KVA \times cos\varphi$

A potência do grupo Diesel-gerador, definida em KVA (potência aparente), está em relação direta com a potência em HP ou CV do motor Diesel. No cálculo para definir a potência do grupo gerador, são consideradas as perdas (rendimento do alternador) e a potência mecânica do motor Diesel é convertida diretamente em kW, sabendo-se que 1 HP = 0,7457 kW ou 1 kW = 1,3598 CV e que kW = KVA x $cos\varphi$. O fator de potência ($cos\varphi$) é uma função da carga. Universalmente, utiliza-se $cos\varphi = 0{,}8$, de acordo com a norma VDE 0530, para a construção de máquinas elétricas. Atualmente, o valor limite estabelecido como mínimo admitido pelas concessionárias de energia elétrica é de $cos\varphi = 0{,}92$. Instalações com fator de potência inferior a 0,92 tem tarifas mais elevadas (multas) pois, para consumir uma determinada quantidade de kWh, colocam em circulação uma corrente mais elevada do que a que seria suficiente com um fator de potência mais alto. A corrente elétrica que percorre os circuitos consumidores produz também a POTÊNCIA REATIVA (Indutiva ou Capacitiva), que será considerada em outro capítulo.

Assim, a potência, em HP do motor Diesel, pode ser calculada em função da potência, em KVA, e fator de potência do alternador, pela relação:

$HP \times 0{,}7457 \times \eta = KVA \times 0{,}8$, onde $\eta$ = rendimento do alternador. Ou:

$HP = (1{,}0728 \times KVA) \div \eta$ .Para o cálculo em CV, basta substituir 0,7457 por 0,7354, resultando: $CV = (1{,}0878 \times KVA) \div \eta$ .

O rendimento do alternador ($\eta$) não é constante e se aproxima do seu valor máximo com a carga entre 80 e 100% da potência máxima. Alternadores pequenos tem rendimento mais baixo do que os alternadores maiores (até 0,93 acima de 250 KVA). Deve ser informado pelo fabricante para cálculos mais seguros. Quando se tratar de cálculos estimativos, pode ser tomado igual 90% (ou 0,9), que é o valor adotado pelos montadores de grupos geradores, em geral.

## 12 – GRUPO DIESEL-GERADOR

Denominamos grupo Diesel-gerador ao conjunto de motor Diesel e gerador de corrente alternada, aqui denominado alternador, convenientemente montados, dotado dos componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo Diesel. Em função dos consumidores de energia elétrica a que se destinam, os grupos geradores são construídos com características especiais que os tornam apropriados para diversas aplicações. São muitos os fatores a serem considerados antes da aquisição do equipamento adequado. Os fornecedores de grupos geradores tendem a padronizar os seus produtos, evitando os fornecimentos especiais sob encomenda, o que na prática é inviável, pois há situações em que alguns requisitos do ambiente e dos consumidores não podem deixar de ser atendidos. É o caso, por exemplo, dos equipamentos de telecomunicações, que necessitam de tensão e freqüência sem oscilações, com baixos fatores de interferência, que somente se consegue, em grupos geradores, com alternadores especialmente fabricados para esta finalidade. Outro exemplo: os grupos geradores para uso naval, fabricados sob fiscalização das sociedades classificadoras, que em tudo diferem do que seria considerado um grupo gerador de uso industrial. Outros fatores, como nível de ruído, capacidade de operar em paralelo com outro grupo ou com a rede local, tempo de partida, capacidade de partida e parada automática, telemetria e controle remoto, durabilidade estendida do óleo lubrificante, em muitos casos, são exigências inerentes aos

consumidores a serem atendidas pelo equipamento. Em todas as situações, uma avaliação criteriosa deve ser feita como parte do projeto da instalação de um grupo gerador. Na maioria das vezes, o grupo gerador "de prateleira", oferecido pelo fornecedor, não é a melhor solução.

Para o dimensionamento correto do grupo gerador, algumas perguntas devem ser respondidas antecipadamente, tais como:

a) – Qual o tipo de carga? (iluminação, motores de indução, fornos, canteiro de obras, retificadores de corrente, equipamentos de telecomunicações?)

b) – Qual o local de serviço? (mar, terra, ambientes com atmosfera explosiva?)

c) – Quais as características do local? (temperatura ambiente dominante, altitude, nível de contaminação do ar por partículas sólidas?)

d) – Qual o regime de operação? (o grupo gerador é a única fonte de energia elétrica? É reserva da rede local ou de outro grupo gerador? Quantas horas de operação por dia?)

e) – Quanto tempo os consumidores podem ficar desligados?

f) – Quais os riscos envolvidos no caso de uma interrupção do fornecimento de energia por defeito no equipamento?

Uma vez definidas as necessidades, é o momento de calcular a potência do grupo gerador.

## 12.1 – DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA

Depois de definidas as características da aplicação, o mais importante é determinar a potência do grupo gerador. Ao mesmo tempo, deve-se considerar a conveniência da subdivisão da potência total requerida em vários grupos geradores de menor porte. Os fatores determinantes do tamanho do grupo gerador são:

Soma das potências de todos os consumidores. Para grupos geradores de emergência, devemos fazer distinção entre *consumidores essenciais* e *consumidores não essenciais* e seus respectivos tempos de interrupção admissíveis.

Nem todos os consumidores estão ligados simultaneamente ou atingem, ao mesmo tempo, seu consumo máximo de energia (fator de simultaneidade).

Alguns consumidores absorvem exclusivamente potência ativa enquanto outros absorvem potência aparente (fator de potência = $\cos\varphi$).

Consumidores especiais, por exemplo, com características de carga brusca (golpe) ou requisitos extremos em relação à constância da tensão e freqüência, devem ser levados em conta.

O tipo de corrente, tensão e freqüência deverão corresponder aos valores nominais da rede pública local.

No caso de condições climáticas especiais no local de instalação (grande altitude, temperaturas e umidade do ar elevadas), o motor e alternador não poderão apresentar sua potência normal e deverão ter seus valores reduzidos de acordo com as normas DIN 6270 e VDE 0530.

## 12.1.1 – CONSUMIDORES ELÉTRICOS

Ao se projetar novas instalações, já é calculada a potência requerida para a conexão à rede pública. Para o dimensionamento do grupo gerador de emergência, é necessário conhecer, além da potência ativa (kW), também a potência aparente (KVA) ou o fator de potência (cosφ) e o fator de simultaneidade.

Durante o projeto de um grupo gerador de emergência para um prédio existente, com consumidores já instalados, a potência ativa (kW) pode ser obtida facilmente quando da leitura do consumo de energia indicado pelo medidor de kWh, quando todos os *consumidores essenciais*, com direito a suprimento de emergência, estiverem ligados, sob aplicação da carga, por uma hora. Todavia pode-se proceder também como no projeto de uma instalação nova.

Se os consumidores forem divididos em *essenciais* e *não essenciais*, deve-se considerar, já na etapa de projeto, que ambos os tipos de consumidores estarão conectados a barramentos separados.

## 12.1.2 – FATOR DE SIMULTANEIDADE

Este fator indica a percentagem do consumo total de energia instalada que estará em operação ao mesmo tempo. Em geral, não se pressupõe que todos os consumidores existentes estejam ligados simultaneamente. Com uma avaliação lógica do fator de simultaneidade, o grupo gerador Diesel pode ser dimensionado com potência menor do que a soma de todos os consumidores potenciais. Todavia a potência nominal do grupo gerador não deverá ser calculada muito abaixo da potência total requerida pelos consumidores, porque, após sua instalação, freqüentemente anexam-se outros novos consumidores. O fator de simultaneidade deve ser avaliado para cada projeto. Deve ser evitada a adoção de um fator muito baixo. Alguns valores práticos para o fator de simultaneidade:

| | |
|---|---|
| Hospitais | 0,4 a 0,8 |
| Prédios administrativos | 0,8 a 0,9 |
| Grandes shoppings | 0,9 a 1,0 |
| Indústrias químicas | Até 1,0 |
| Hotéis | Até 1,0 |

## 12.1.3 – FATOR DE POTÊNCIA

Um fator essencial para a determinação da potência do motor Diesel é a potência ativa absorvida pelos consumidores. O fator de potência (cosφ) indica a relação entre a potência ativa e a potência aparente.

O fator de potência é sempre determinado pelo tipo dos consumidores.

Assim, por exemplo, transformadores e motores elétricos representam um quinhão considerável da potência reativa indutiva, enquanto que lâmpadas incandescentes, aquecedores e outras cargas puramente resistivas, absorvem apenas potência ativa. A potência reativa capacitiva não é muito freqüente e, em geral, pode ser desprezada. Obtém-se a potência ativa (kW) multiplicando a potência aparente (KVA) pelo fator de potência (cosφ), como visto anteriormente. O fator de potência de um setor que consiste de vários

consumidores distintos, pode ser determinado de maneira segura, estabelecendo-se a soma das potências ativas (kW) e a soma das potências aparentes (KVA). O resultado da divisão da soma dos kW pela soma dos KVA, é o fator de potência do setor considerado.

Com um fator de potência menor, a potência do motor Diesel poderá ser reduzida correspondentemente enquanto que com um fator de potência maior, esta deve ser elevada, o que será imprescindível levar em conta no projeto.

## 12.1.4 – TIPOS DE CARGA

Carga brusca significa a aplicação súbita de uma parte considerável da carga nominal ou ainda a aplicação temporária de sobrecarga.

A aplicação da carga ativa (kW) ocasiona uma queda temporária (dinâmica) da velocidade. Se isto não implicar em carga no motor Diesel além da sua potência máxima pré-ajustada de bloqueio, a velocidade subirá novamente até a velocidade nominal, dentro de um tempo de recuperação relativamente breve, dependendo das características do governador utilizado no motor Diesel.

Em caso de uma sobrecarga momentânea de potência ativa, pode ser eventualmente possível compensar o pico de potência por meio de um volante particularmente pesado do motor Diesel, não sendo portanto necessário um superdimensionamento do motor e alternador em função de sobrecargas temporárias.

Ao dimensionar o grupo gerador, também é preciso observar se os motores elétricos trifásicos de maior porte são ligados diretamente (partida direta) ou se por meio de dispositivos auxiliares de partida, como chave estrela/triângulo ou compensadora por auto-transformador (partida com tensão reduzida). Em caso de partida direta, a corrente de partida poderá superar em até 6 ou mais vezes a corrente nominal, dependendo da construção adotada. Neste caso o alternador pode estar sujeito a uma carga de corrente tão elevada que a tensão atingirá a ruptura. Como conseqüência disto, os contactores e relés que compõem o sistema deixam de funcionar e o suprimento de energia é interrompido.

### 12.1.4.1 – PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO

Além da determinação da potência nominal, deve-se observar que a partida de motores assíncronos, sobretudo motores com rotor em curto-circuito, resulta em maiores correntes de partida, incrementadas com elevada percentagem de corrente reativa, que pode superar a 6 vezes a corrente nominal. As altas correntes de partida exigidas pelos motores de rotor em curto-circuito podem ser absorvidas por alternadores superdimensionados ou dotados de sistema especial de excitação.

É recomendável a ligação escalonada dos motores elétricos, iniciando pelos de maior potência.

Os motores elétricos são construídos obedecendo a normas, segundo o uso a que se destinam, que os padronizam conforme definições da NEMA ou da ABNT. (Deverá constar na plaqueta de identificação a letra correspondente ao seu padrão construtivo).

A NEMA define os códigos de letras conforme a tabela abaixo:

| Letra Código | KVA que o motor necessita para partida direta (por KVA) |
|---|---|
| **A** | 0,00 a 3,14 |
| **B** | 3,15 a 3,54 |
| **C** | 3,55 a 3,99 |
| **D** | 4,00 a 4,49 |
| **E** | 4,50 a 4,99 |
| **F** | 5,00 a 5,59 |
| **G** | 5,60 a 6,29 |
| **H** | 6,30 a 7,09 |
| **J** | 7,10 a 7,99 |
| **K** | 8,00 a 8,99 |
| **L** | 9,00 a 9,99 |
| **M** | 10,00 a 11,19 |
| **N** | 11,20 a 12,49 |
| **P** | 12,50 a 13,99 |
| **R** | 14,00 a 15,99 |
| **S** | 16,00 a 17,99 |
| **T** | 18,00 a 19,99 |
| **U** | 20,00 a 22,39 |
| **V** | 22,40 |

Para a ABNT, 5 códigos são definidos, conforme a tabela seguinte:

| Letra Código | Corrente de partida direta (Motores com enrolamento tipo gaiola) | |
|---|---|---|
| A | ALTA | Até 6 x $I_N$ |
| B | NORMAL | 3,80 a 6,00 x $I_N$ |
| C | NORMAL | 3,80 a 6,00 x $I_N$ |
| D | NORMAL | 3,80 a 6,00 x $I_N$ |
| F | BAIXA | Até 4 x $I_N$ |

É comum encontrarmos motores com corrente de partida igual a 7 ou 8 vezes a corrente nominal. Porém, para os motores de produção seriada, normalmente encontrados no mercado, a corrente de partida situa-se entre 5,5 e 7,00 vezes a corrente nominal. ($5,5 \times I_N < I_P < 7,00 \times I_N$). São quatro os métodos de partida utilizados no acionamento de motores elétricos de indução:

1) - Partida direta;
2) - Com chave estrela-triângulo;
3) - Com chave compensadora e
4) – Com chave estática "Soft Start"

Para o primeiro caso, a corrente de partida deverá ser calculada por uma das tabelas acima ou medida durante um ciclo de partida do motor. No segundo caso, a corrente de partida é reduzida para 1/3. Assim, se, por exemplo, a corrente de partida for de 6 x $I_N$, com o uso da chave estrela-triângulo ficará reduzida para 2 x $I_N$.
No terceiro caso, a corrente de partida depende do tipo de chave compensadora. Dois exemplos podem melhor esclarecer:

a) Com tape de 80%: a corrente será reduzida para 0,8 x 0,8 = 0,64 ou 64%
b) Com tape de 65%: a corrente será reduzida para 0,65 x 0,65 = 0,4225 ou 42,25%.

As chaves de partida de estado sólido fazem as mesmas funções de fornecer corrente reduzida durante o período de partida do motor elétrico, porém a corrente é controlada por meio de SCR's (retificadores controlados de silício). Quando for o caso, observar que a partida com estes dispositivos submete o alternador a uma carga não linear, deformante, que poderá introduzir distorções não suportadas por outros consumidores. Em geral, a redução da corrente de partida adotada é em torno de 50%.

Os motores para acionamento de máquinas centrífugas tais como, por exemplo, bombas e ventiladores, deverão ser projetados de tal forma que seu torque de partida ainda permaneça acima da curva de torque da máquina acionada, no caso de ligação direta ou estrela-triângulo, mesmo durante uma queda momentânea de tensão para 80% da tensão nominal.

Para o acionamento de máquinas alternativas, tais como bomba a pistão e compressores, como também agitadores, etc., será sempre necessário um dispositivo de alívio para o período de partida, porque essas máquinas requerem um torque elevado já no início da operação.

| **Rendimento dos motores elétricos trifásicos ($\eta_M$):** | | |
|---|---|---|
| **Potência em kW** | **Rendimento %** | |
| | **A 1500 rpm** | **A 3000 rpm** |
| 0,5 | 76,0 até 80,0 | 76,0 até 79,0 |
| 1,5 | 82,5 até 83,0 | 81,5 até 88,0 |
| 5,0 | 86,5 até 87,0 | 85,5 até 89,0 |
| 15,0 | 86,5 até 87,0 | 89,5 até 89,0 |
| 50,0 | 90,0 | 89,6 até 91,0 |
| 100,0 | 91,0 | 90,5 até 91,0 |

**Fórmulas de potência para motores elétricos trifásicos:**

$P$ (kW) = Potência disponível no eixo do motor;

$P_w$ (kW) = Potência ativa tomada no terminal do motor;

$P_a$ (KVA) = Potência aparente tomada no terminal do motor;

$\eta_M$ (%) = Rendimento mecânico do motor a carga nominal;

$E$ (V) = Tensão nominal do motor;

$\cos\varphi$ = Fator de potência com carga nominal e

$I_N$ (A) = Corrente nominal do motor.

$$P = \frac{I_N.E.\sqrt{3}.\cos\varphi\eta_M}{1.000}$$

$$P_a = \frac{P}{\eta_M.\cos\varphi} \Leftrightarrow \frac{P_w}{\cos\varphi}$$

$$I_N = \frac{736.P_{(CV)}}{\sqrt{3}.E.\cos\varphi.\eta_M}$$

$$I_N = \frac{1.000.P_{(kW)}}{\sqrt{3}.E.\cos\varphi.\eta_M}$$

## 12.1.4.2 – INFLUÊNCIA EXERCIDA PELA LIGAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS SOBRE GRUPOS GERADORES

O fator de potência, cosφ, de motores elétricos trifásicos durante o período de partida pode ser adotado entre 0,4 até 0,6, a depender da carga. Disto resulta uma sobrecarga do motor Diesel situada acima da relação de correntes normalmente admitida, conforme abaixo:

*Com cosφ = 0,6: (corrente nominal do alternador) ÷ (corrente de partida) ≤ 1,33*

*Com cosφ = 0,4: (corrente nominal do alternador) ÷ (corrente de partida) ≤ 2,0*

Deve-se considerar como corrente nominal do grupo gerador aquela que corresponde à potência do alternador juntamente com o fator de potência tomado por base para seu projeto, correspondente à potência do motor Diesel. A corrente nominal do alternador poderá ser maior, por exemplo, no caso de alternador superdimensionado. A corrente nominal do alternador é essencial para a queda de tensão no caso de partida de motores elétricos trifásicos, ou seja, com alternador superdimensionado a queda de tensão pode ser mantida dentro de limites restritos.

Para grupos geradores sujeitos a uma carga inicial aplica-se também a relação de correntes de 1,33 ou 2,0 se à corrente inicial for adicionada a corrente de partida.

No caso de alternadores trifásicos, a corrente nominal pode ser ligada quando da partida de motores elétricos trifásicos, sem que haja uma queda de tensão superior a aproximadamente 18,0%. Aumentando-se a corrente de partida em mais 25% da corrente nominal do alternador, deve-se contar com mais uma queda de tensão da ordem de 4,0%. Isto significa que a um alternador em vazio podem ser ligados diretamente motores elétricos até uma ordem de grandeza de aproximadamente 20,0% da sua capacidade nominal sem que o motor Diesel sofra uma queda de velocidade anormal nem que haja queda de tensão transitória do alternador além de 20,0%, entre 0,1 e 0,5 segundo.

Quando se necessita partir motores cuja corrente de partida ultrapassa os limites das relações acima, é necessário estabelecer o limite de queda de tensão admissível pelos demais consumidores.

A queda de tensão que se verifica durante as partidas de motores elétricos depende também do tipo de excitação do alternador. Excitação dinâmica tem um tempo de resposta ligeiramente superior do que a excitação estática.

Em resumo, para um projeto normal de grupo gerador, a sua potência ativa não deverá exceder a potência máxima admissível do motor Diesel (levando-se em conta o rendimento do alternador). A corrente de partida de motores elétricos trifásicos não deverá (inclusive a carga inicial do alternador) ser superior a 1,2 vezes a corrente nominal do alternador.

Para efetuar um cálculo preciso da queda de tensão do alternador durante a partida de motores elétricos, utilize os valores de reatância do alternador, informados pelo fabricante, e aplique a fórmula:

$$\Delta_V = \frac{\frac{I_P}{I_G} \times \frac{X_d''}{100}}{1 + \left( \frac{I_P}{I_G} \times \frac{X_d''}{100} \right)} \therefore \Delta_V \leq 20\%$$

Onde:

$\Delta_V$ = Queda de tensão;

$I_P$ = Corrente de Partida;

$I_G$ = Corrente nominal do alternador e

$Xd''$ = Reatância transitória do alternador.

## 12.1.5 – TIPOS DE CORRENTE – TENSÃO – FREQÜÊNCIA

Uma rede elétrica é caracterizada pela indicação do tipo de corrente, tensão e freqüência. Os grupos geradores Diesel adaptados às redes públicas de consumo, para que todos os consumidores possam ser supridos tanto pela rede como pelo grupo gerador.

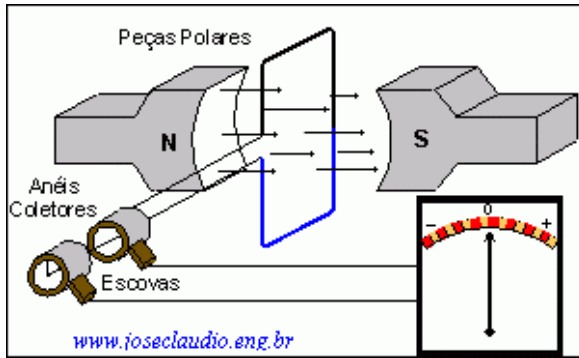
A tensão de 400 ou 231 V é a tensão de alimentação usual para consumidores de 380 ou 220 V. A sobretensão de 5% servirá para compensar as perdas de energia nas linhas. A corrente contínua, que não sendo considerada neste trabalho, será utilizada tão somente em casos especiais.

Todavia, o suprimento de corrente alternada trifásica é diferente nos diversos países do mundo. Na Europa Ocidental prevalecem redes de corrente trifásicas com 380 / 220 V e freqüência de 50 Hz, enquanto que na América do Norte o normal é 60 Hz. Muitos países da América do Sul utilizam 230 / 133 V e 60 Hz. Mas há ainda outras tensões e freqüências. O Brasil, até a década de 60, utilizava a freqüência de 50 Hz. Atualmente, embora a freqüência seja padronizada em 60 Hz, há regiões que utilizam a rede pública em 220 / 127 V e outras em 380 / 220 V, como Brasília, para citar um exemplo. A determinação de tensão e freqüência necessárias aos consumidores é, portanto, um fator imprescindível. Enquanto a tensão é importante apenas para o projeto do gerador, a velocidade de rotação do grupo, a ser escolhida, dependerá essencialmente da freqüência.

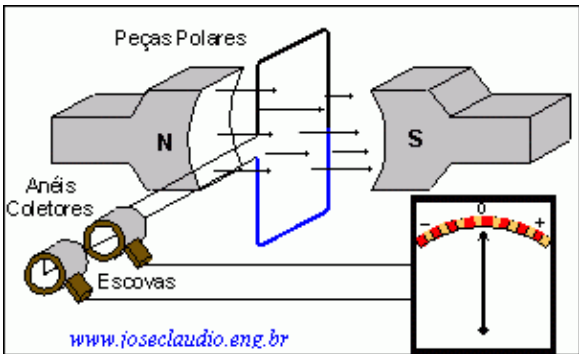
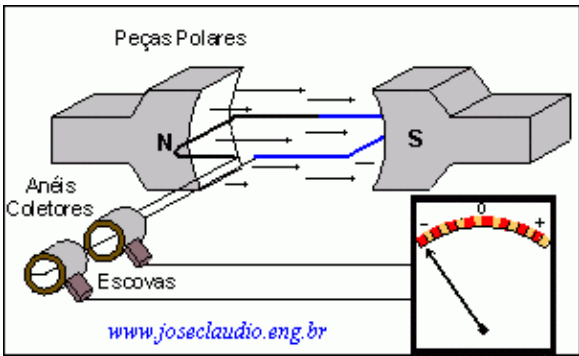
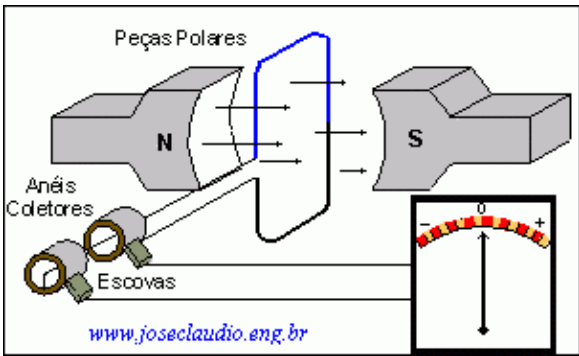
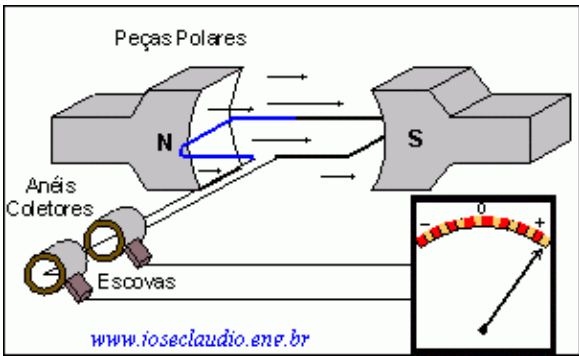
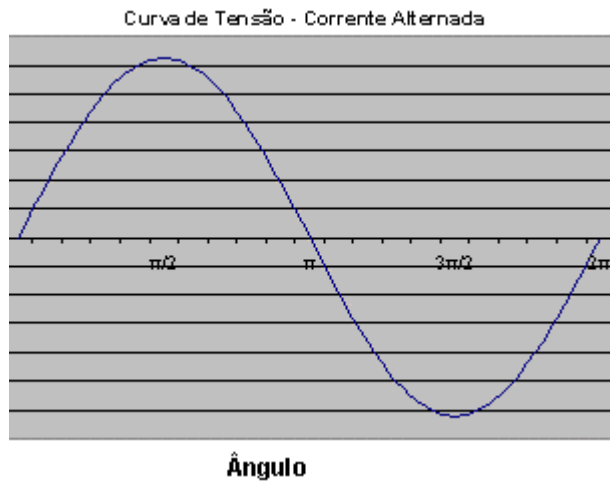
# 13 – ALTERNADOR

Denominamos *alternador* ao gerador de corrente alternada, assim como denominamos *dínamo* ao gerador de corrente contínua. Os geradores são máquinas destinadas a converter energia mecânica em energia elétrica. A transformação de energia nos geradores fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Lenz. Esta lei afirma que "*quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz*."

Os alternadores pertencem à categoria das máquinas síncronas, isto é, máquinas cuja rotação é diretamente relacionada ao número de pólos magnéticos e a freqüência da força eletromotriz. Não há, basicamente, diferenças construtivas entre um alternador e um motor síncrono, podendo um substituir o outro sem prejuízo de desempenho. Assim, um alternador quando tem seu eixo acionado por um motor, produz energia elétrica nos terminais e, ao contrário, recebendo energia elétrica nos seus terminais, produz energia mecânica na ponta do eixo, com o mesmo rendimento.

A indução magnética ocorre sempre que há movimento relativo entre um condutor e um campo magnético. O gerador elementar, concebido por Michael Faraday em 1831, na Inglaterra e mais ou menos na mesma época por Joseph Henry, nos Estados Unidos, era constituído por uma espira que girava entre os pólos de um ímã, semelhante à figura:

## GERADOR ELEMENTAR

Uma espira de fio girando em um campo magnético forma um gerador elementar, que é ligado ao circuito externo por meio dos anéis coletores.

.

## SAÍDA DO GERADOR ELEMENTAR

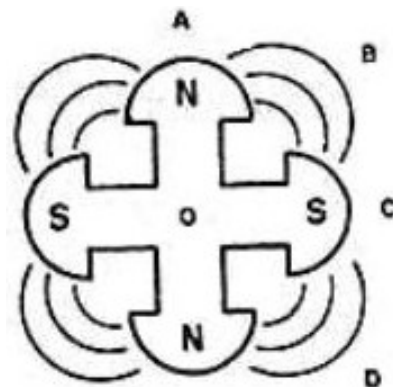
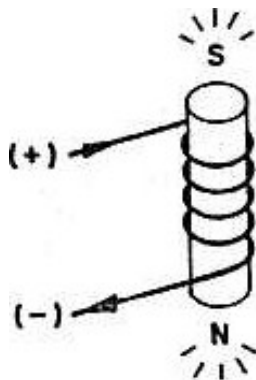
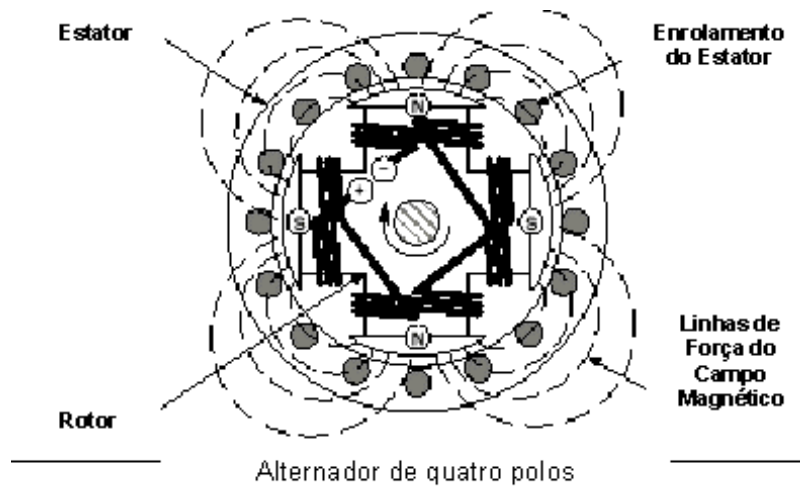
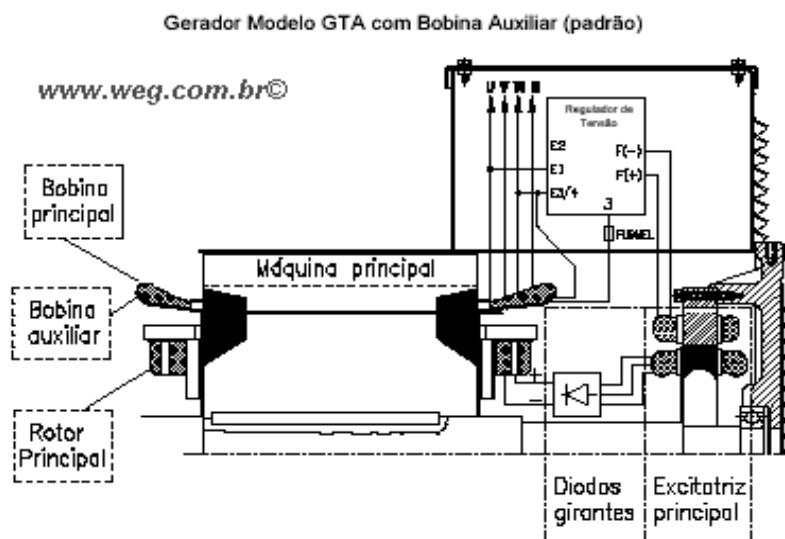
A força eletromotriz e a corrente de um gerador elementar mudam de direção cada vez que a espira gira 180°. A tensão de saída deste gerador é alternada. É um ALTERNADOR

Faraday estabeleceu, ainda, que os valores instantâneos da força eletromotriz (ou tensão) podiam ser calculados pela relação:

***e = B . l . v. sen(θ)***, em que:

> ***e =*** Força eletromotriz;
>
> ***B =*** Indução do Campo Magnético;
>
> ***l =*** Comprimento do condutor;
>
> ***v =*** Velocidade linear de deslocamento do condutor e
>
> ***θ =*** Ângulo formado entre ***B*** e ***v***.

O campo magnético do gerador elementar era constituído por ímãs naturais. Para que seja possível controlar tensão e corrente em um alternador, o campo magnético é produzido por ímãs artificiais, formados por bobinas alimentadas com corrente contínua suprida por uma fonte externa e controlada por um regulador de tensão. A essa fonte de corrente contínua, denominamos *Excitatriz.*

Alternador de quatro polos

Com muitas espiras, um campo magnético controlado por meio de um dispositivo de excitação com corrente contínua, montados em arranjo conveniente, fabrica-se os alternadores comerciais utilizados nos grupos geradores, bem como os grandes alternadores das usinas hidroelétricas. Nas figuras, detalhes dos alternadores produzidos pela WEG.

Gerador Modelo GTA com Bobina Auxiliar (padrão)

www.weg.com.br©

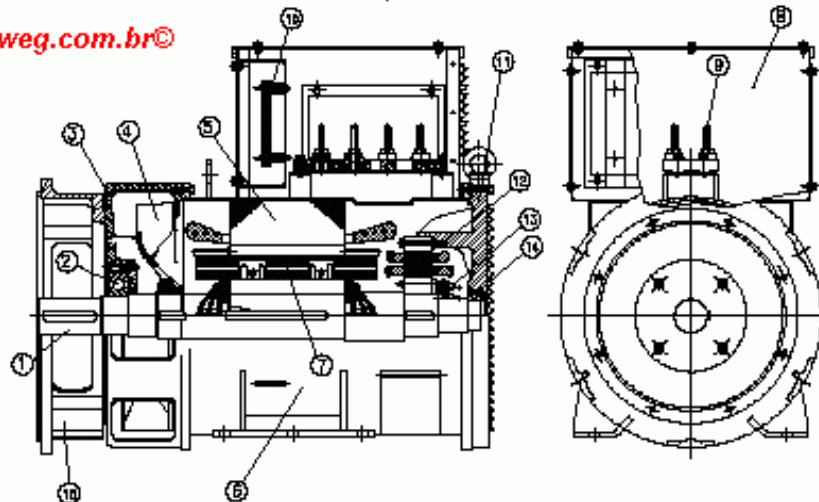
Bobina principal

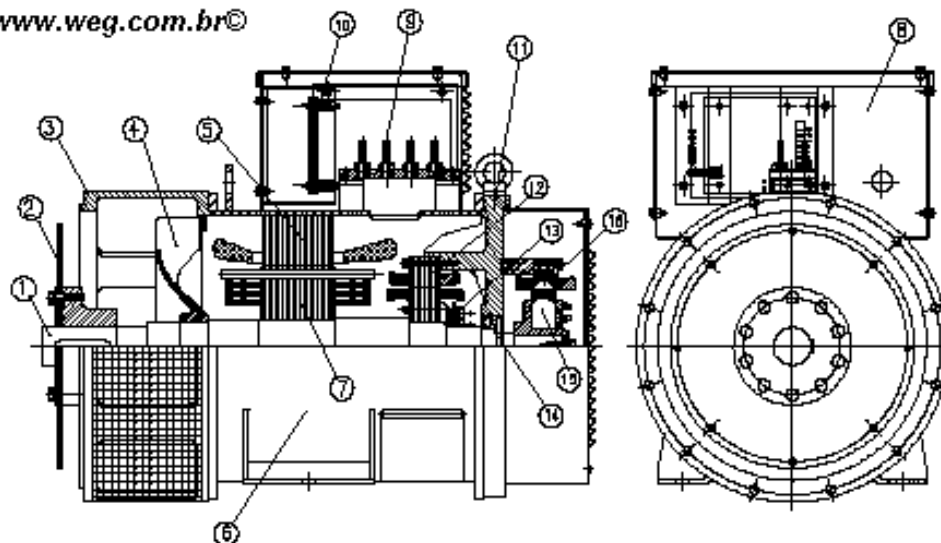
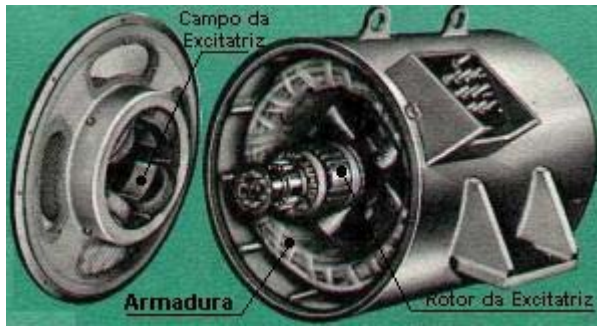
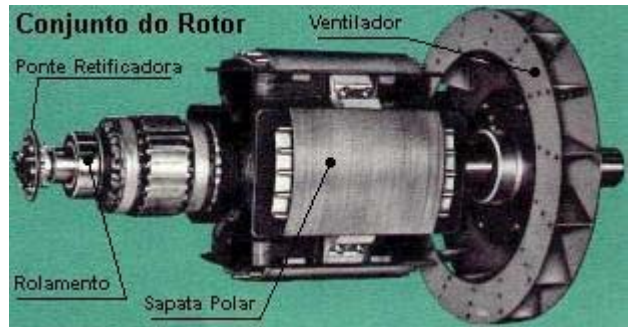
Bobina auxiliar

Rotor Principal

Máquina principal

Diodos girantes

Excitatriz principal

| 1. Eixo | 5. Estator principal | 9 . Placa de bornes | 13. Conjunto de diodos |
|---|---|---|---|
| 2. Rolamento dianteiro | 6. Carcaça | 10. Regulador de tensão | 14. Rolamento traseiro |
| 3. Tampa dianteira | 7. Rotor principal | 11. Tampa traseira | 15. Flange |
| 4. Ventilador | 8. Caixa de ligação | 12. Estator da excitatriz principal | |

## GERADOR COM MANCAL ÚNICO E EXCITATRIZ AUXILIAR (ESPECIAL)

| 1. Eixo | 5. Estator principal | 9 . Placa de bornes | 13. Conjunto de diodos |
|---|---|---|---|
| 2. Discos | 6. Carcaça | 10. Regulador de tensão | 14. Rolamento traseiro |
| 3. Flange | 7. Rotor principal | 11. Tampa traseira | 15. Rotor da excitatriz auxiliar |
| 4. Ventilador | 8. Caixa de ligação | 12. Estator da excitatriz principal | 16. Estator da excitatriz auxiliar |

Estator e tampa com bobinas de campo da excitariz. – Alternador NEGRINI

Rotor com ventilador , induzido da excitatriz e ponte retificadora na extremidade do eixo

Alternador **NEGRINI** tipo **ATE**

Mecanicamente, o alternador é constituído por duas partes principais: uma fixa, que é a carcaça, onde se encontram os pés de fixação, e a outra móvel (girante). A parte fixa chamamos ***estator*** e a parte móvel chamamos ***rotor***.

Eletricamente, também, são duas partes principais. Uma delas é responsável pelo campo magnético, onde estão localizados os pólos do alternador, que chamamos de ***campo*** (ou indutor). A outra parte é onde aparece a força eletromotriz, a qual chamamos de ***induzido***.

O posicionamento do *campo* e do *induzido* dão origem a dois tipos de máquinas diferentes. Quando o *campo* está localizado no *estator*, temos o que chamamos de **máquina de pólos fixos** (ou de pólos externos) e, ao contrário, quando o *campo* se encontra no *rotor*, temos o que chamamos de **máquina de pólos girantes** (ou de pólos internos). As máquinas de pólos fixos são pouco utilizadas devido ao inconveniente da necessidade de escovas para retirar a energia gerada. As máquinas de pólos girantes são as mais utilizados por permitirem a retirada da energia diretamente dos terminais das bobinas.

Segundo o tipo de aplicação, os alternadores são construídos com características especiais para atender os diversos segmentos a que se destinam, com diferenças de forma construtiva, isolação, refrigeração, acabamento e características elétricas conforme abaixo:

## 13.1 - APLICAÇÕES

**Alternadores Industriais:** São os chamados de "*máquinas de linha*", destinados a atender a maioria dos consumidores normais.

**Alternadores Navais:** São máquinas construídas para uso naval, com todos os componentes projetados e tratados para resistir à corrosão marinha.

**Alternadores Marinizados:** basicamente são alternadores industriais destinados a serviço em áreas agressivas, recebendo então um tratamento especial em alguns componentes.

**Alternadores para Telecomunicações:** São máquinas especiais, com características determinadas para não causar interferência nas telecomunicações e também para atender ao tipo de carga, que é bastante severa. Em geral, os alternadores destinados a atender equipamentos de telecomunicações alimentam retificadores de alta capacidade que produzem deformações da forma de onda da tensão gerada, o que é levado em consideração no projeto e na construção do alternador especial.

**Alternadores a prova de explosão:** Destinam-se ao serviço em áreas saturadas, principalmente petrolíferas e químicas, onde há risco de materiais inflamáveis, sendo totalmente blindados para impedir que qualquer centelhamento entre em contato com a atmosfera ambiente, tendo por isso um sistema de refrigeração especial, tipo trocador de calor, de modo que o ar existente no interior da máquina não é transmitido ao exterior.

## 13.2 – NUMERO DE FASES

Pode-se ainda distinguir os alternadores segundo o numero de fases, que, no caso presente, são:

**Alternadores monofásicos:** São aqueles que possuem as bobinas do enrolamento induzido de tal forma que a tensão de saída é obtida em dois pontos terminais.

**Alternadores trifásicos:** Possuem três grupos independentes de bobinas, montadas defasadas em 120° entre si, sendo ligadas de tal maneira que podemos ter três ou quatro pontos de ligação para os consumidores. Em geral, cada grupo independente de bobinas tem duas bobinas separadas, para permitir que, com o fechamento das ligações externas, se obtenha valores diferentes de tensão, como veremos adiante. O tipo de fechamento normalmente utilizado é o "***estrela com neutro acessível***", onde existe um ponto de ligação para cada fase mais um ponto denominado "***neutro***", que é constituído pelo fechamento das extremidades das bobinas. A tensão entre os três pontos terminais de cada fase é sempre a mesma, que deve corresponder ao tipo de fechamento escolhido. A tensão medida entre cada fase e o neutro é menor, sendo, numericamente, igual ao valor da tensão entre fases dividida pela raiz quadrada de 3. O neutro é para ser ligado ao aterramento da instalação elétrica local.

No sistema trifásico ligado a carga equilibrada não deve haver circulação de corrente pelo condutor *neutro*, o que na prática resulta muito difícil, razão pela qual, os alternadores chamados industriais são construídos para suportar um desequilíbrio de carga entre fases máximo de 15%, valor que não deve ser excedido, pois além de provocar funcionamento irregular e diferenças de tensão entre fases, pode danificar o alternador.

## 13.3 – LIMITAÇÕES

O que limita a potência do alternador é a temperatura alcançada pelo enrolamento do induzido. Por isso, são máquinas que sofrem perdas por aquecimento, que pode resultar da temperatura ambiente ou da altitude. Os alternadores de linha normal de produção são fabricados para operar com temperatura ambiente máxima de 40°C e altitude de 1.000 m acima do nível do mar. Para serviço em condições mais adversas, é necessário corrigir para menos a potência do alternador.

## 13.4 – CONCEITOS BÁSICOS SOBRE CORRENTE ALTERNADA

Como visto no gerador elementar, diz-se que a corrente é alternada quando muda de valor em função da posição das espiras em relação ao campo magnético. Fisicamente, essas mudanças de valores instantâneos ocorrem segundo a lei de Faraday, matematicamente definida como veremos em seguida.

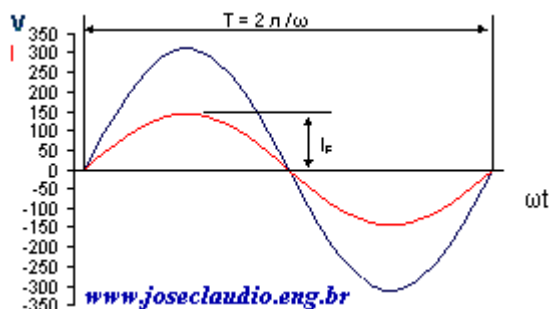
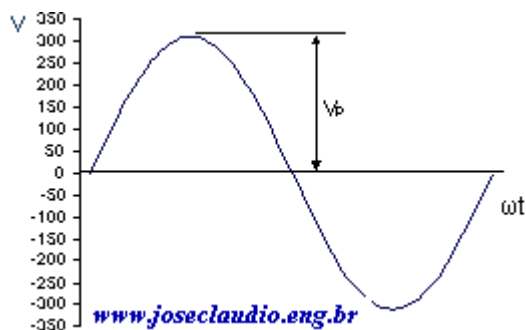
Sendo a posição relativa da espira uma função de velocidade e tempo, podemos substituir ***θ*** por **ωt** e ***B. l. v*** por $\mathbf{V_p}$ na equação definida para a lei de Faraday e estabelecer que um alternador produz corrente elétrica cujos valores instantâneos obedecem a uma forma senoidal de onda determinada pelas seguintes equações:

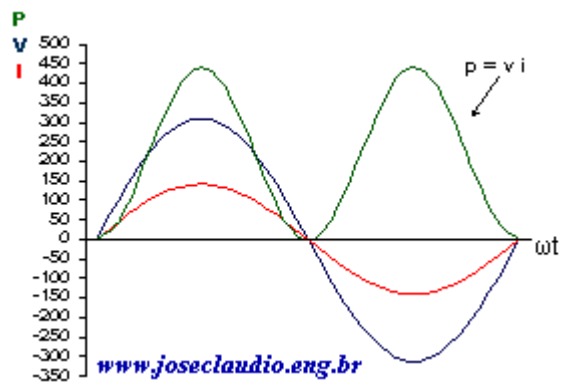
**Corrente:** $i = I_p \, \text{sen}(\omega t)$

**Tensão:** $v = V_p \, \text{sen}(\omega t + \varphi)$

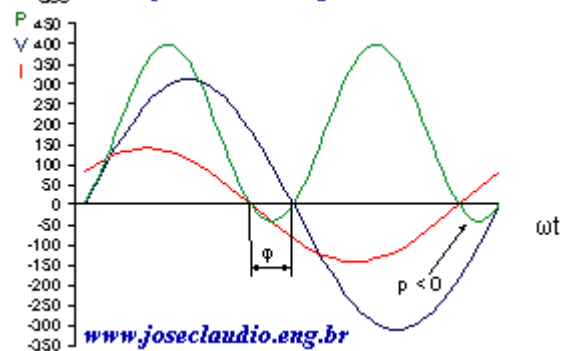
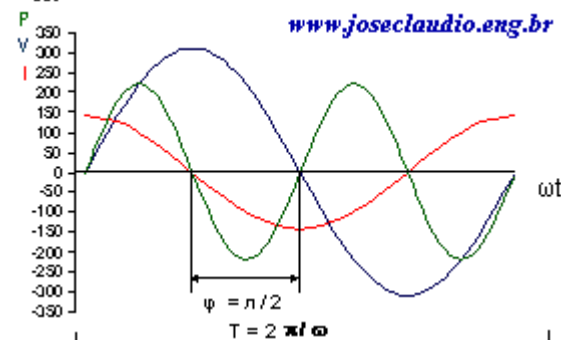
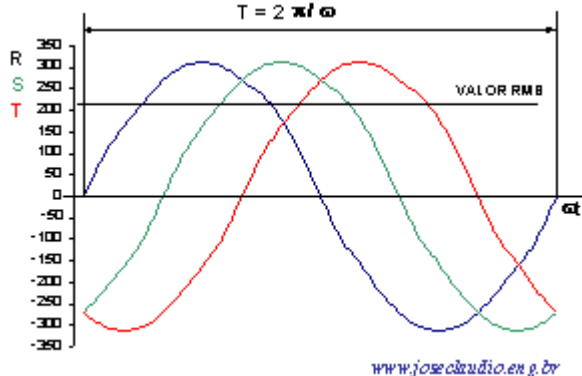
e a potência instantânea – $p = v\,i$

O ângulo **φ,** conhecido como *ângulo de fase*, varia em função dos consumidores alimentados pelo alternador. É, portanto, uma característica das cargas e seus valores se revestem de grande importância no dimensionamento dos componentes dos circuitos alimentados, bem como sua correção pode se tornar necessária, para evitar cobrança adicional pela concessionária de energia, quando se verifica valores de ***cosφ*** abaixo do limite contratual.

Nas figuras a seguir, uma visão dos valores instantâneos.

**Legenda:**

- **v** = Tensão instantânea
- **i** = Corrente instantânea
- $\mathbf{V_p}$ = Tensão de pico
- $\mathbf{I_p}$ = Corrente de pico
- **f** = Freqüência
- **ω** = Freqüência angular (= 2 π f)
- **t** = Tempo
- **φ** = Ângulo de fase
- **T** = Período (= 2 π / **ω** = 1 / f)

**Potência Instantânea:**

**p = v i**

Quando a corrente percorre um circuito de resistência pura, a corrente se mantém em fase com a tensão e o ângulo de fase é zero (**φ = 0**). Todos os valores de potência são positivos (**p > 0**).

Quando a corrente percorre um circuito com carga indutiva ou capacitiva, há uma defasagem da corrente em relação à tensão e (φ > 0). Neste caso, surge potência instantânea negativa. Quanto maior o ângulo de fase, maior o valor negativo instantâneo.

Para o valor do ângulo de fase igual a 90°, as somas das potências instantâneas se anulam e a potência média é zero. Embora com os mesmos valores de tensão e corrente circulando, não há utilização de energia.

**Tensão trifásica.**

No mesmo período, os valores de tensão variam defasados de 120° nas fases R, S e T (ou U, V e W).

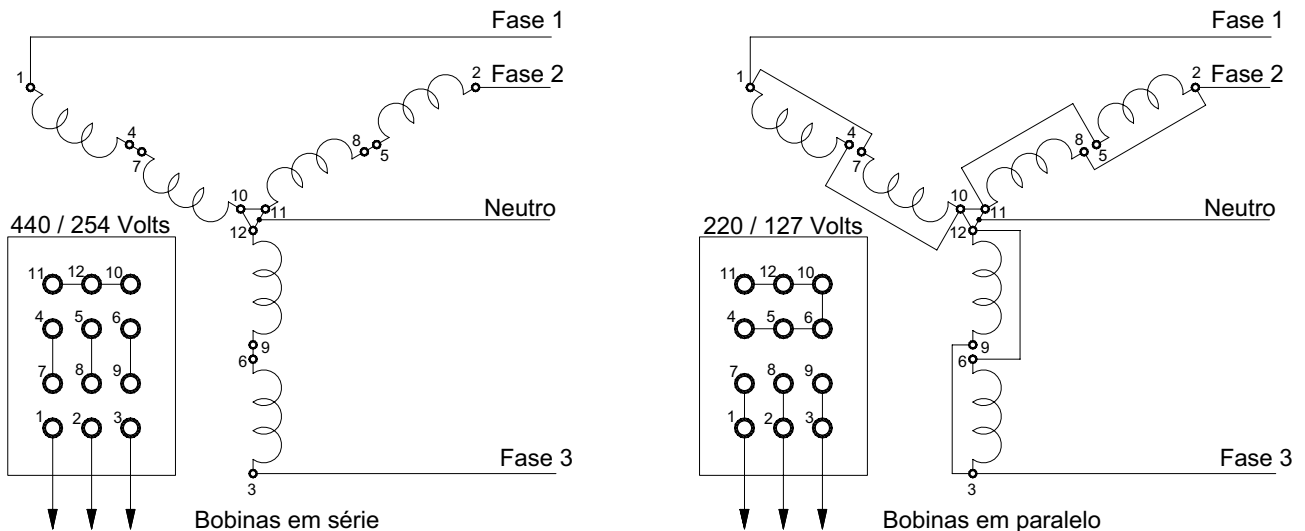
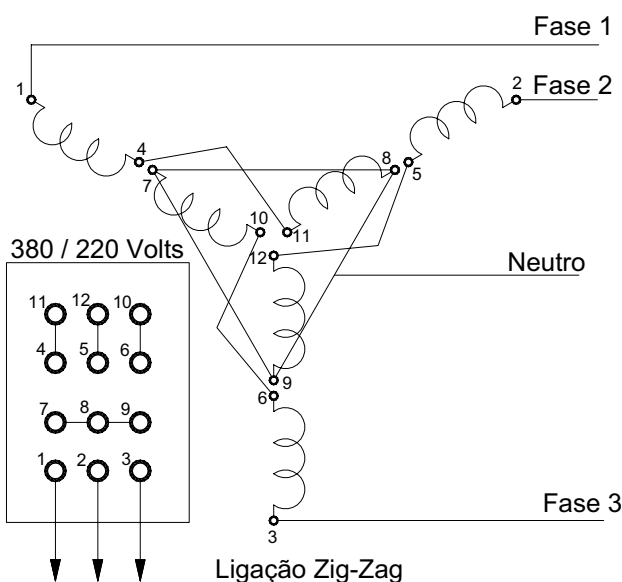
**Valor eficaz:**

É o valor da potência média, equivalente ao valor de corrente contínua que aplicada ao circuito, produz a mesma quantidade de calor.

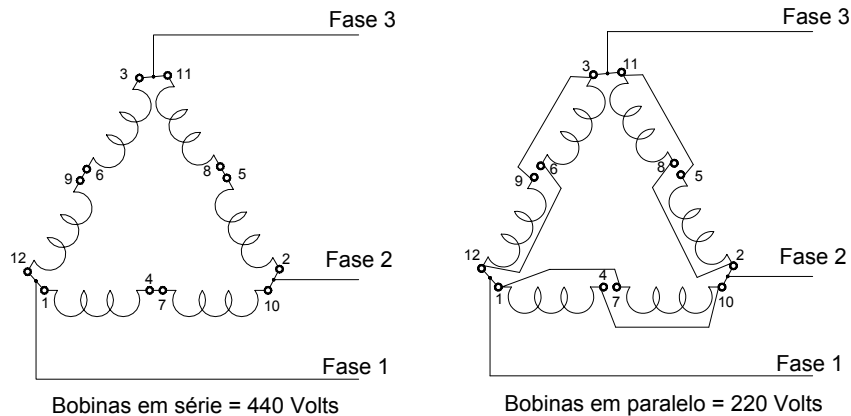
Sendo ***R*** a resistência do circuito, é calculado pela fórmula $P = (1/T) \int_{0,T} i^2 R \, dt$, que uma vez resolvida, dá os resultados: $I_e = I_p / \sqrt{2}$ e $V_e = V_p / \sqrt{2}$ que são conhecidos como valores RMS (de Root Mean Square). Os valores RMS são os que são lidos nos instrumentos de medição. (Note que tais instrumentos indicam valores RMS de grandezas que se comportam de forma senoidal ao longo do tempo. Para medição de grandezas com outras formas de onda, são necessários instrumentos TRUE RMS).

## 13.4.1 – TENSÃO, POTÊNCIA E FREQÜÊNCIA NO ALTERNADOR

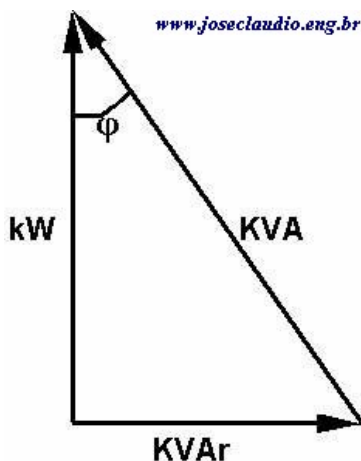
Nos sistemas trifásicos, a tensão entre fases é determinada pelas ligações de fechamento que forem executadas. Normalmente os alternadores são fornecidos com 12 terminais de bobinas do induzido para serem ligados de forma a gerar tensão em 220/127 V, 380/220 V ou 440/254 V. A tensão entre fase e neutro é o quociente da divisão da tensão entre fases pela raiz quadrada de 3. Os diferentes valores possíveis de tensão são o resultado do arranjo das bobinas, que são construídas em grupos, resultando para cada fase um conjunto de 2 bobinas que podem ser ligadas como se vê nas figuras seguintes:

FECHAMENTO EM ESTRELA

*www.joseclaudio.eng.br*

*www.joseclaudio.eng.br*

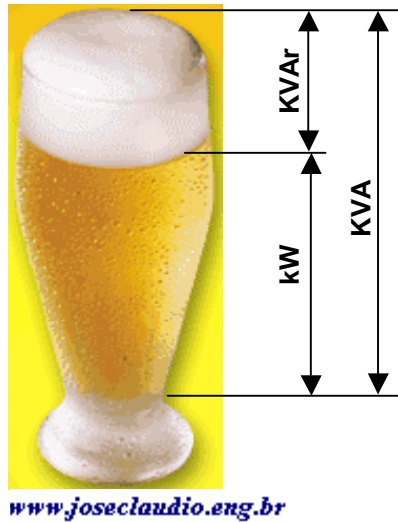
Observar que a numeração das extremidades das bobinas se faz em espiral, de fora para dentro, em sentido horário, de forma que os números 1 e 4, assim como 2 e 5 são extremidades da mesma bobina. O arranjo da numeração na caixa de terminais que utiliza barras de ligação é feito iniciando pelo número 11 no canto superior esquerdo, terminando com o número 3, no canto inferior direito. Em geral, há outros terminais na caixa, para ligação dos circuitos de excitação. Existem alternadores que apresentam 10 pontas ao invés de 12. Neste caso, os pontos 10, 11 e 12 já estão fechados internamente e o alternador não permite a ligação 380/220 V. Se for necessário utilizar 380/220 V, duas soluções podem ser adotadas: a) – utilizar o fechamento de 440/220 V e regular a tensão para 380 V no regulador de tensão ou b) – abrir a ligação interna das pontas 10, 11 e 12 e alterar o fechamento para o esquema acima. Na maioria dos casos de mudança de tensão, é necessário substituir o voltímetro do quadro de comando, caso este não seja multitensão. As ligações do freqüencímetro e do regulador de tensão podem ser remanejadas para pontos onde exista a tensão compatível, conforme o caso.

FECHAMENTO EM TRIÂNGULO OU DELTA

## 13.4.2 – POTÊNCIA DO ALTERNADOR

Vimos no capítulo 4 que a potência do alternador é definida em KVA (potência aparente) e que a potência ativa é definida em kW, sendo o fator de potência (cosφ) a relação entre as potências ativa e aparente e que **kW = *cosφ . KVA***. Vimos ainda que existe a potência reativa, que surge nos circuitos elétricos com cargas indutivas, especialmente motores elétricos.

Na realidade, a potência aparente (KVA) é a soma vetorial das potências ativa (kW) e reativa (KVAr). No triângulo de potências abaixo, pode-se visualizar as relações que existem entre as três potências:

Das relações geométricas do triângulo retângulo, sabemos que:

$$(KVA)^2 = (kW)^2 + (KVAr)^2 \text{ e que}$$

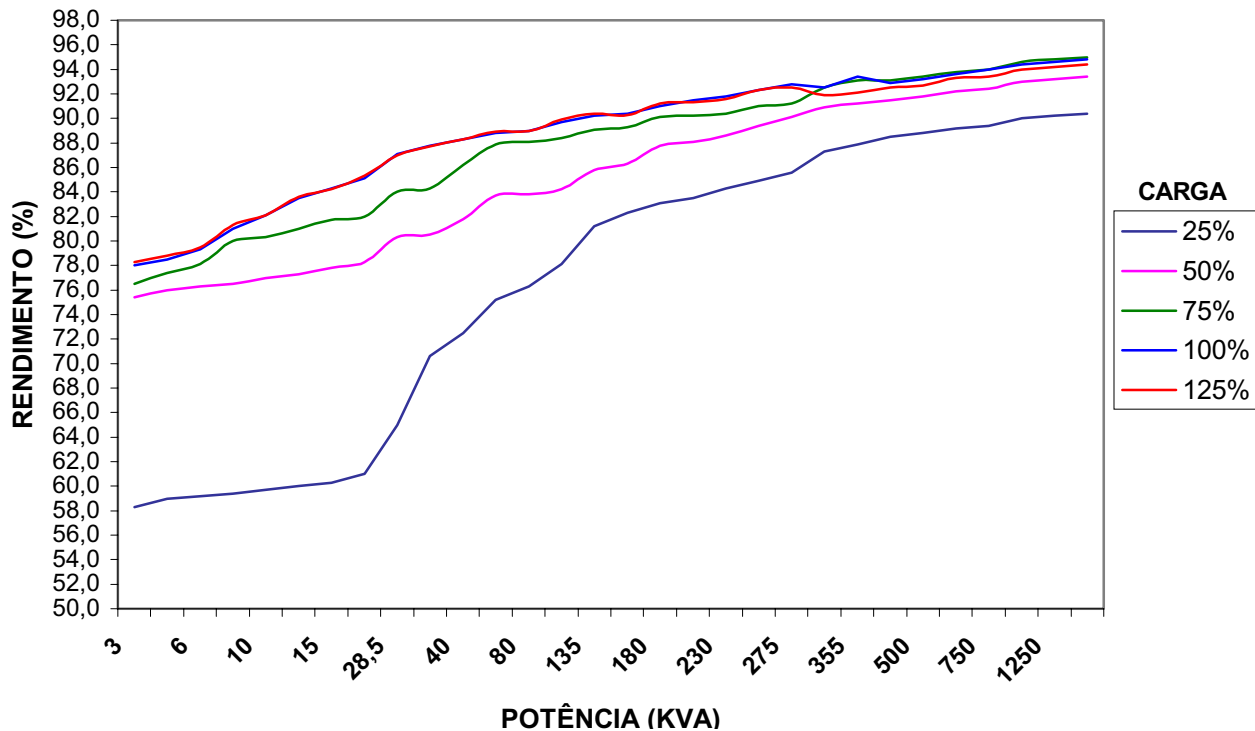
cosφ = ***(kW)* ÷ *(KVA)***. É fácil perceber que, mantendo-se constante o valor de (*kW*), quanto maior for o valor de (*KVAr*), menor será cosφ e maior será (*KVA*). Por isso o fator de potência é universalmente denominado cosφ. Se estabelecêssemos uma comparação com um copo de chope, teríamos algo semelhante à figura:

A potência ativa (*kW*), a exemplo do que foi visto no capítulo sobre partida de motores elétricos, é calculada, para circuitos trifásicos com cargas equilibradas, conhecidos os valores de tensão (***E***), corrente (***I***) e fator de potência (cosφ), pela relação:

$$P_{(KW)} = \frac{E.I.\sqrt{3}.\cos\varphi}{1.000}$$

## 13.4.2.1 - RENDIMENTO MECÂNICO DO ALTERNADOR

O Rendimento do Alternador é definido em termos percentuais pela relação entre a potência elétrica por ele fornecida aos consumidores e a potência mecânica absorvida do motor acionador. É sempre menor que 1.

$$\eta = \frac{kW_{(Elét.)}}{kW_{(Mec)}}$$

O rendimento do alternador ($h$) não é constante e se aproxima do seu valor máximo com a carga entre 80 e 100% da potência máxima. Alternadores pequenos tem rendimento mais baixo do que os alternadores maiores (até 0,93 acima de 250 KVA). Deve ser informado pelo fabricante para cálculos mais seguros. Quando se tratar de cálculos estimativos, pode ser tomado igual 90% (ou 0,9), que é o valor adotado pelos montadores de grupos geradores, em geral.

## 13.4.3 – FREQÜÊNCIA

$$f = \frac{N.N_p}{120}$$

Como dissemos anteriormente, o alternador é uma máquina síncrona e que sua velocidade de rotação e freqüência estão relacionadas com o número de pólos. Sendo $f$ = freqüência (em Hz); $\boldsymbol{N}$ = velocidade de rotação (em rpm) e $\boldsymbol{N_p}$ = número de pólos, temos que:

Assim, um alternador de 60 Hz que trabalha a 1800 rpm, tem:

60 = (1.800 x $N_p$) ÷ 120 ⇔ $N_p$ = 4 pólos. Analogamente, um alternador de 6 pólos, para gerar tensão em 60 Hz, precisa girar a: 60 = (N x 6) ÷ 120 ⇔ N = 1.200 rpm. Um alternador especial para aeroportos, que necessita gerar tensão na freqüência de 400 Hz trabalhando a 2000 rpm, necessita de: 400 = (2000 x $N_p$) ÷ 120 ⇔ $N_p$ = 24 pólos.

## 13.5 – EXCITAÇÃO

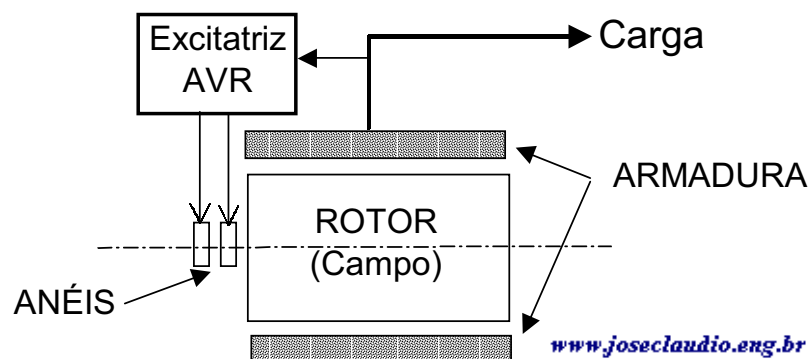
Como visto anteriormente, para induzir a força eletromotriz necessitamos de um circuito magnético – o campo do alternador. Em máquinas de pequeno porte podemos formar o campo por meio de ímãs permanentes naturais, mas normalmente isto é feito por meios eletromagnéticos, ao alimentar as bobinas que constituem os pólos, com corrente contínua. Isto se denomina *excitar* a máquina, por meio de uma fonte de corrente contínua denominada *excitatriz*.

Para manter constante a tensão de saída do alternador, é necessário regular o sistema de excitação, pois é a intensidade do campo magnético quem determina este valor. Portanto, necessitamos de um regulador de tensão, que é o elemento capaz de "sentir" as variações de tensão de saída do alternador e atuar diretamente na excitatriz para que esta aumente

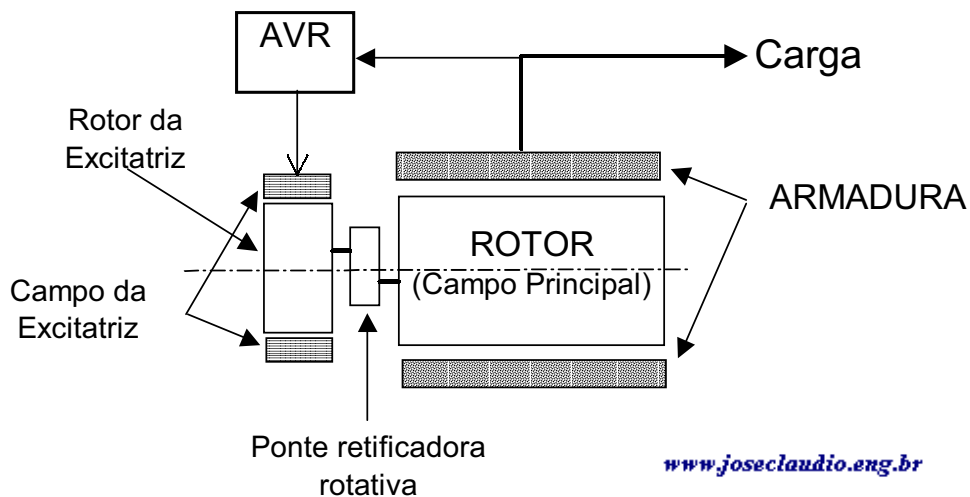
ou diminua o fluxo de corrente no campo magnético, mantendo constante a tensão para qualquer solicitação de carga.

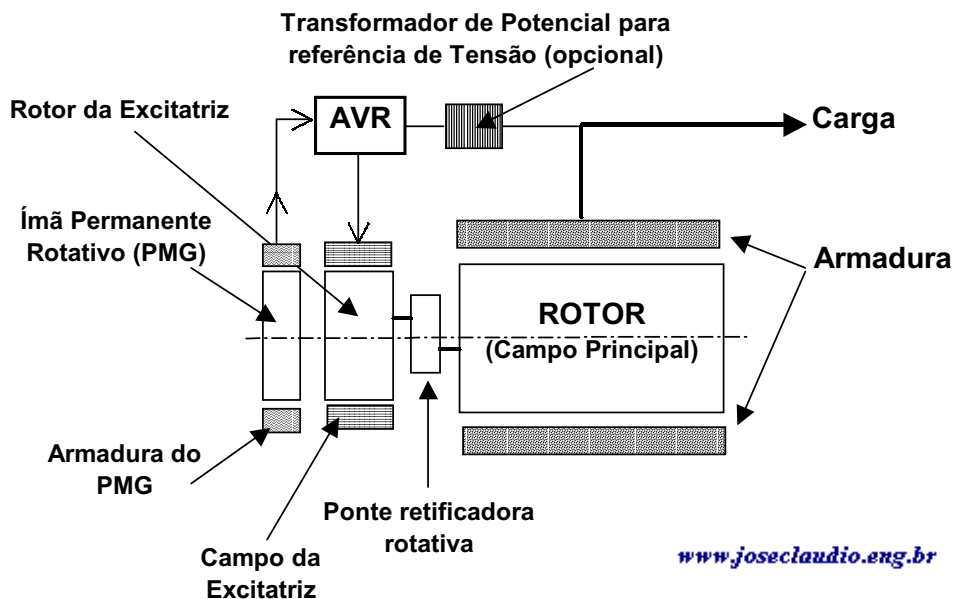
Quanto à forma construtiva, duas são as configurações básicas para o sistema de excitação do alternador; EXCITAÇÃO DINÂMICA e EXCITAÇÃO ESTÁTICA. O primeiro, denominado excitação dinâmica, é montado no próprio eixo do alternador. O segundo, denominado excitação estática, é constituído por um retificador de corrente que utiliza a própria energia gerada pelo alternador para alimentar o campo com corrente retificada. Um circuito eletrônico acoplado ao retificador faz a função de regulador de tensão, abrindo ou fechando o "gate" de um tiristor.

## EXCITAÇÃO ESTÁTICA:

No sistema de excitação estática, a corrente que alimenta o campo do alternador é retificada e controlada por uma excitatriz eletrônica. A condução da corrente se faz por meio de um par de anéis com escovas montado no eixo do alternador. Como utiliza a tensão gerada pelo alternador, necessita de um mínimo de tensão inicial, gerada pelo magnetismo remanente do alternador durante a partida, para iniciar o processo de retificação e alimentação do campo. Este processo de início de geração é denominado escorva do alternador.

O sistema de excitação estática tem resposta de regulação mais rápida do que o sistema de excitação dinâmica, uma vez que o regulador atua diretamente no campo do alternador, o que lhe proporciona maior capacidade de partir motores elétricos de indução. Entretanto, como o fluxo de corrente é controlado por pulsos dos tiristores, introduz deformações na forma de onda da tensão gerada, o que o torna contra-indicado para alternadores que alimentam equipamentos sensíveis.

## EXCITAÇÃO BRUSHLESS:

No sistema de excitação dinâmica utiliza-se um gerador de corrente contínua, montado no próprio eixo do alternador. O campo deste gerador é alimentado por um regulador externo que, modernamente, é eletrônico semelhante ao empregado na excitação estática. Nos alternadores antigos este gerador de corrente contínua era um dínamo, com escovas e coletor de lâminas de cobre. Atualmente utiliza-se um pequeno alternador de pólos fixos, cuja corrente alternada gerada no induzido rotativo é retificada por uma ponte retificadora de onda completa, também girante, que transfere a corrente retificada diretamente ao campo do alternador, sem a necessidade de escovas. Este sistema é denominado "Brushless" e é largamente utilizado.

## EXCITAÇÃO POR ÍMÃ PERMANENTE:

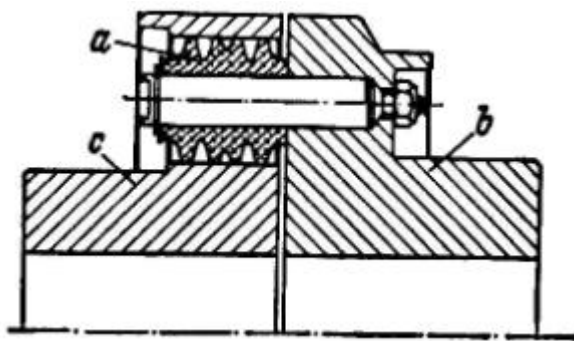
Sistema de excitação por magneto (ou imã) permanente, também conhecido por excitação PMG, abreviatura da denominação em inglês de Permanent Magnet Generator. Trata-se de um sistema de excitação onde uma excitatriz auxiliar, constituída por um campo magnético constante produzido por uma peça magnetizada antes da montagem, a qual funciona como indutor girando no interior de um enrolamento fixo, este trabalhando como induzido. Esquematicamente, tal sistema pode-se representar da seguinte forma:

Neste tipo de alternador, a energia fornecida ao campo da excitatriz (campo fixo) é proveniente do PMG e independe da energia fornecida à carga. Constitui-se, portanto, num sistema de excitação independente. Os valores de tensão nos terminais do alternador que alimentam a carga, são usados apenas como referência, opcionalmente através de um transformador de potencial, podendo ser monitorados em duas ou três fases, também opcionalmente, em função do projeto adotado pelo fabricante.

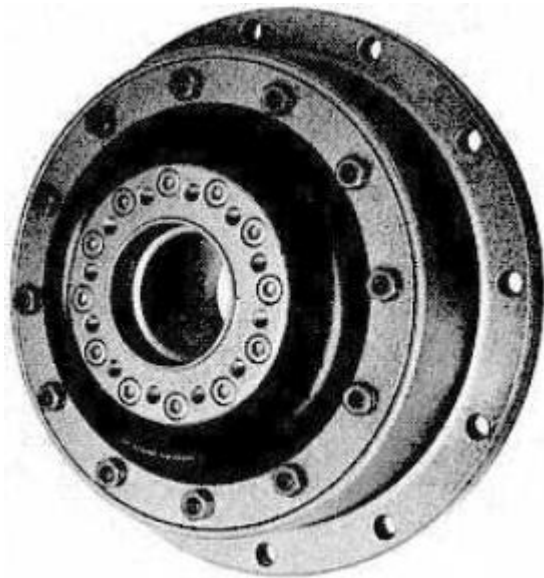
O regulador automático de tensão (identificado acima como AVR – abreviatura de Automatic Voltage Regulator) difere do regulador de tensão utilizado num alternador convencional, auto-excitado, na medida em que não supre o campo da excitatriz com a mesma energia que alimenta os consumidores. Isto é particularmente vantajoso nas aplicações onde o

alternador aciona grandes motores elétricos porque possibilita a manutenção de valores elevados de corrente durante a partida destes motores, sem as grandes quedas de tensão que se verificam nos alternadores que não utilizam excitação independente. Também oferecem melhor desempenho do alternador quando alimentando cargas não lineares, tais como motores de corrente contínua alimentados por tiristores, motores de corrente alternada com chaves de partida “Soft Start” ou sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply) também conhecidos como “No Breaks” estáticos. É a opção desejável para todos os casos onde se requer melhor qualidade da energia gerada.

O regulador de tensão (AVR) compara a tensão de saída do alternador com o padrão ajustado no potenciômetro de ajuste de tensão e efetua as correções atuando no campo da excitatriz.

## 14 – ACOPLAMENTO

A ligação entre os eixos do alternador e do motor Diesel se faz por meio de um acoplamento elástico capaz de absorver pequenos desalinhamentos radiais e axiais, bem como as vibrações provenientes das variações de carga e do desbalanceamento admitido das massa girantes. O alinhamento dos centros dos eixos é essencial para o bom funcionamento do equipamento, na medida em que não introduza vibrações e desgaste prematuro dos rolamentos do alternador e dos mancais do motor Diesel. Existem muitos tipos de acoplamentos disponíveis no mercado destinados à montagem de alternadores em motores Diesel. O mais freqüentemente encontrado é o tipo Elco, por ser de menor custo e montagem simples, é constituído por 6, 8 ou 12 mangas de borracha sobre pinos de aço instalados numa das metades do acoplamento, que se encaixam em furos existentes na segunda metade.

**Acoplamento Elco.**

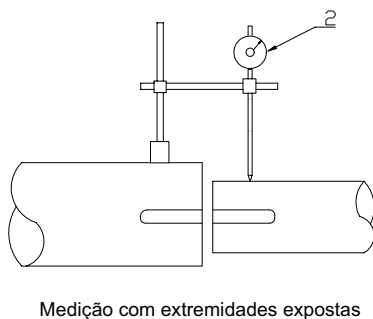
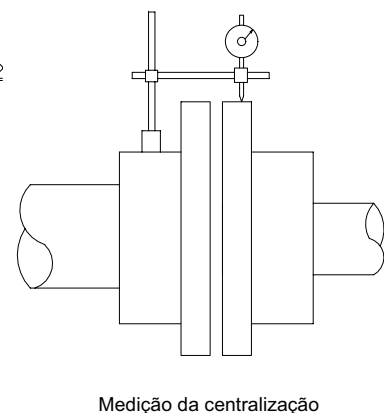
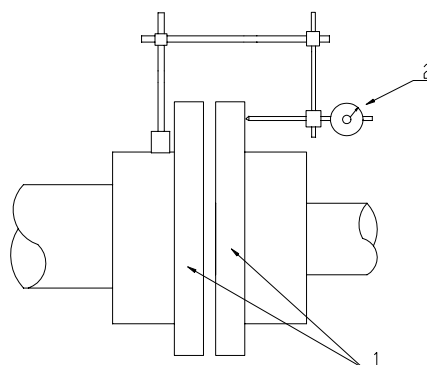
Na peça ***b*** existem os pinos com mangas de borracha ***a*** que se encaixam nos furos existentes na peça ***c***. Geralmente a peça ***b*** é aparafusada ao volante do motor Diesel enquanto a peça ***c*** é montada por meio de chaveta no eixo do alternador. A folga recomendada entre as peças ***b*** e ***c*** é de 4,0 mm, para que esforços axiais não sejam transmitidos à árvore de manivelas do motor.

### Acoplamento elástico.

Em virtude da grande elasticidade dos elementos flexíveis, os acoplamentos elásticos proporcionam boa absorção das irregularidades de montagem, nivelando grandes diferenças de alinhamento radial, axial e angular e são isentos de manutenção. A fixação rígida dos elementos flexíveis pelas partes metálicas do acoplamento e das partes metálicas deste com os conjuntos agregados, elimina todo e qualquer atrito causador de folgas e desgaste, evitando assim ajustes periódicos.

Os alternadores modernos são dotados de carcaça padrão SAE, que permite montagem monobloco, garantindo a manutenção do alinhamento entre os eixos das máquinas após a montagem. Entretanto, na primeira montagem é necessário conferir a concentricidade dos eixos em relação às suas respectivas carcaças, com um microcomparador, para se assegurar de que não haverá desalinhamento.

Nas montagens diretas, sem carcaças padronizadas, o alinhamento necessita ser feito criteriosamente e conferido após a fixação definitiva das máquinas.

Embora os acoplamentos elásticos permitam desvios relativos, é todavia aconselhável procurar obter o máximo alinhamento possível. Isto prolongará a vida útil do acoplamento. As medições de alinhamento se fazem como nas figuras abaixo e os valores das tolerâncias deverão ser informados pelo fabricante do acoplamento.

## 14.1 – ALINHAMENTO

Ao montar um acoplamento, é necessário certificar-se de que o mesmo não interfere na folga axial da árvore de manivelas do motor Diesel. Os acoplamentos de duas metades separadas estabelecem uma distância a ser mantida entre as faces das duas metades após

a montagem, que precisa ser observada. As extremidades dos eixos das máquinas necessitam guardar alguma distância entre si, para não interferir com a folga axial.

O conjunto motor-alternador é montado sobre uma base metálica rígida, construída com perfilados laminados de aço ou chapa dobrada, capaz de suportar o funcionamento do motor Diesel sem sofrer deformações, assegurando o posicionamento das máquinas de forma a permitir livre acesso aos componentes para manutenção e deve dispor de um ponto de ligação ao aterramento geral da subestação local.

Quando a montagem é do tipo monobloco, o conjunto motor-gerador é assentado sobre coxins de borracha. Neste caso, uma ligação de aterramento entre o conjunto e a base deve ser prevista.

## 15 – COMPONENTES DE SUPERVISÃO E CONTROLE

Os grupos Diesel/geradores, trabalham sem a supervisão constante dos operadores, fornecendo energia elétrica aos consumidores e automaticamente corrigindo a tensão e a freqüência fornecidas. A pressão do óleo lubrificante, a temperatura da água de refrigeração sendo reguladas pelas válvulas reguladora de pressão e termostática, como visto anteriormente. Se ocorrer uma deficiência de funcionamento nos sistemas de lubrificação ou de refrigeração, o motor Diesel poderá sofrer sérias avarias antes que seja possível uma intervenção do operador. Para prevenir estas falhas, os motores Diesel para aplicação em grupos geradores são dotados de sistemas de proteção, que, dependendo das especificações do cliente, incluem:

**a)** **– Pressostato do óleo lubrificante:** tem a finalidade comandar a parada do motor Diesel quando a pressão do óleo lubrificante cai abaixo de um valor predeterminado. Em algumas aplicações, utilizam-se dois pressostatos (ou sensores de pressão) sendo um para alarme, quando a pressão do óleo atinge determinado valor e o outro para comandar a parada, calibrado para um valor imediatamente abaixo;

**b)** **– Termostato para a água de refrigeração:** com função idêntica à acima, também, em algumas aplicações, são utilizados dois sensores, para atuarem quando a temperatura do meio refrigerante ultrapassa valores predeterminados;

**c)** **– Sensor de sobrevelocidade:** para comandar a parada do motor Diesel quando a velocidade de rotação ultrapassa valores predeterminados, (geralmente 20% acima da rotação nominal). Em algumas aplicações, onde há o risco de aspiração de gases inflamáveis, o sensor de sobrevelocidade é interligado a um dispositivo de corte do ar de admissão, para parar o motor por abafamento, além do corte de combustível.

**d)** **– Sensor de nível do líquido de refrigeração:** na maioria dos casos utilizado para acionar um dispositivo de alarme, indicando a necessidade de completar o nível do sistema de refrigeração;

**e)** **– Relé taquimétrico:** tem a finalidade de desligar o motor de partida quando a rotação do motor Diesel ultrapassa determinado valor, em geral 500 rpm. Em muitos casos, esta função é também inerente ao sensor de sobrevelocidade, quando este permite o controle de mais que uma faixa de operação. Este dispositivo impede acionar o motor de partida com o motor funcionando;

**f)** **– Sensor de ruptura da correia:** Em algumas aplicações, é exigido que a parada do motor Diesel seja comandada antes da temperatura da água se elevar, no caso de ruptura da correia da bomba d’água;

g) **– Sensor de freqüência:** pode ser utilizado para supervisionar tanto a freqüência do grupo gerador quanto da rede local. Nos grupos geradores equipados com sistema de partida automática, comanda o desligamento da rede local e aciona a partida automática do grupo gerador, ou vice-versa, comanda a parada do grupo gerador e transfere a carga para a rede local quando há anormalidade na freqüência do alternador;

h) **– Sensores de tensão da rede e do grupo:** atuam como no caso dos sensores de freqüência, comandando a partida e parada, conforme o caso.

i) **– Outros sensores:** a pedido do cliente, outros sensores podem ser adicionados ao sistema, tais como nível do tanque de combustível, presença de água no filtro de combustível, filtro de ar obstruído, sobrecarga no alternador, bateria com deficiência de carga, pressão do sistema de arrefecimento, temperatura do óleo lubrificante, etc. os quais podem funções de alarme visual ou sonoro, no local ou a distância ou outras funções especificadas pelo usuário.

j) **– Painel local de instrumentos:** para avaliar a performance do motor Diesel, um painel de instrumentos dotado de manômetro para o óleo lubrificante, termômetro para o sistema de refrigeração, chave de partida, comando de parada manual, indicador de carga de bateria e outros instrumentos tais como voltímetro e amperímetro para a bateria, tacômetro, termômetro para o óleo lubrificante e horímetro, conforme o caso, é instalado junto ao motor Diesel. Em algumas aplicações, componentes do governador eletrônico de rotações são também instalados no painel local.

**k) – Quadro de comando:**

abriga os componentes elétricos afetos ao alternador, rede local e às cargas, conforme o caso. Normalmente é dotado de uma chave seccionadora com fusíveis ou disjuntor para a entrada dos cabos provenientes do alternador, voltímetro, freqüencímetro, amperímetros, chave seletora de voltímetro (para selecionar as fases cujas tensões se quer medir), regulador automático de tensão do alternador e demais componentes elétricos, tais como partida automática, sensores de tensão e freqüência, chaves de transferência automática de carga, interface para comunicação e transmissão de dados, carregador/flutuador de baterias, voltímetro e amperímetro do sistema de excitação ou outros instrumentos, conforme requerido para a aplicação.

Nos grupos geradores de emergência, dotados de sistema de partida automática para assumir a carga em caso de falha da rede local, o motor Diesel está equipado com um sistema de pré-aquecimento, constituído por um resistor imerso numa derivação do circuito de refrigeração (geralmente de 2 a 4 kW, dependendo do porte do grupo gerador), para que a água seja mantida em temperatura acima da ambiente e próxima da de trabalho. A temperatura é controlada por um ou dois termostatos, que ligam ou desligam a corrente que alimenta o resistor, segundo valores pré-ajustados. Isto auxilia no sentido de possibilitar que o grupo gerador seja acionado e assuma a carga em 10 a 15 segundos após a ausência da energia da rede local.

O circuito do sistema de pré-aquecimento deve ser ligado ao motor de tal forma que o aquecimento provoque termo-sifão, fazendo a tomada de água fria em um ponto mais baixo que a conexão de saída da água aquecida.

Nas regiões frias, um sistema semelhante é instalado no circuito de lubrificação para manter aquecido também o óleo lubrificante. Quando for necessário utilizar pré aquecimento do óleo lubrificante, efetuar as trocas de óleo em períodos reduzidos.

Dispositivos de pré-lubrificação também são empregados em motores aplicados a grupos geradores de emergência. Existem aqueles que funcionam em conjunto com o motor de partida, fazendo circular óleo lubrificante sob pressão durante o tempo em que o motor está sendo acionado, e outros, constituídos por uma bomba acionada por motor elétrico, que são ligados durante um certo tempo em intervalos determinados, como, por exemplo, 5 minutos a cada 4 horas. O objetivo é fazer com que o motor receba lubrificação adequada durante o ciclo de partida, prevenindo o desgaste prematuro por insuficiência de lubrificação.

Em ambientes úmidos, é recomendável instalar resistores na armadura do alternador, para desumidificação dos enrolamentos e evitar redução da resistência de isolação.

Há situações em que resistores de desumidificação são instalados também no interior do quadro de comando, conforme necessidade.

## 16 – INSTALAÇÃO

Na maioria dos casos, não há necessidade de fundações especiais para suportar o grupo gerador. Entretanto, em qualquer situação, é necessário avaliar o peso do conjunto e as freqüências envolvidas, para verificar a necessidade de reforço adicional para o piso ou estruturas. Por exemplo, para a instalação do equipamento sobre a laje de um pavimento elevado de um prédio, esses valores devem ser considerados pelo calculista da edificação.

Uma maneira prática de avaliar a resistência das fundações para suportar o peso, isolar vibrações e assegurar o alinhamento do conjunto é calculando a espessura da base de concreto armado, necessária para o equipamento, considerando que o peso da base deve ser igual ao peso do Grupo Gerador: ***e = P / (7182 . l . c)***.

Onde:

***e*** = espessura da base de concreto (m);

***P*** = Peso total do grupo gerador (kg);

***7182*** = Densidade do concreto (kg/m$^3$);

***l*** = largura da base (m) e

***c*** = Comprimento da base (m).

Os valores de ***l*** e de ***c*** devem ser os da base do grupo gerador acrescidos de 12,0” (30 cm) para cada lado.

Se o grupo gerador utiliza amortecedores de vibração (Vibra-Stop, por exemplo), considerar o peso da base igual ao do grupo gerador. (Multiplicar pela unidade o valor de ***e*** encontrado). Multiplicar o valor de ***e*** calculado por 1,25, quando não utilizar amortecedores de vibração, e por 2 quando se tratar de grupos geradores que operam em paralelo.

A ferragem para a armação do concreto pode ser feita com uma malha trançada de vergalhões com espaçamento de 3,00”.

A base metálica do grupo gerador deve ser conectada ao sistema de aterramento geral da subestação local.

Em algumas instalações, o neutro da rede local é separado do aterramento da instalação. Neste caso, conectar o neutro do alternador ao neutro da rede e o terra da base ao aterramento geral.

Tratando-se de instalação em que o grupo gerador é a única fonte de energia, um sistema de aterramento deve ser construído caso existam consumidores que demandem energia com tensão entre fase e neutro do alternador.

Observar que as cargas que serão alimentadas pelo grupo gerador devem estar distribuídas entre as fase do alternador de modo que não resulte desequilíbrio superior a 15%.

Os cabos elétricos para interligação do alternador ao quadro de comando e deste aos consumidores, devem ser dimensionados obedecendo às recomendações das normas técnicas aplicáveis. Sobrecarga em cabos elétricos produz aquecimento dos mesmos, com conseqüente risco de danos ao isolamento e possibilidade de curto-circuito.

Outros cuidados principais de instalação dizem respeito às vibrações, ao nível de ruído, sistema de combustível, circulação de ar e exaustão dos gases de escape.

## 16.1 – VIBRAÇÕES

Um motor Diesel de quatro tempos e 6 cilindros, por exemplo, trabalhando a 1800 rpm, terá 3 tempos motor a cada volta completa da árvore de manivelas. Estes impulsos, para efeito de cálculos de freqüência, são chamados *excitadores principais,* e sua freqüência é $\Omega_x = 3 \times 1.800 \times (2\pi / 60)$. A freqüência natural ou própria do sistema ($\omega_e$) é uma composição de harmônicos e subharmônicos resultante dos movimentos das massas. Quando ocorre a igualdade das freqüências dos excitadores principais com a freqüência natural ($\Omega_x = \omega_e$), acontece o que se conhece como *ressonância,* com todas as manifestações perigosas que costumam acompanhá-la. A velocidade em que $\Omega_x = \omega_e$ é conhecida como ***velocidade crítica***. Nos grupos geradores modernos, esta velocidade está abaixo de 1000 rpm.

Para evitar que vibrações indesejáveis sejam transmitidas às edificações, entre a base e o piso de apoio são utilizados amortecedores de borracha ou de molas, que devem ser adquiridos juntamente com o equipamento, pois, no caso de molas, estas são calculadas pelo fabricante em função de peso e freqüência de trabalho.

É possível que, em determinadas aplicações, seja necessário conhecer a freqüência natural de algum componente do ambiente da instalação, para saber dos riscos de ressonância com a freqüência dos excitadores principais do grupo gerador.

Havendo necessidade de estudos mais profundos, pode-se solicitar ao fabricante do motor, mediante pagamento, um cálculo de vibrações torsionais para um determinado acoplamento.

Há casos em que o grupo gerador foi fabricado sob encomenda e o acoplamento empregado foi objeto de estudo e cálculo de vibrações torsionais, como, por exemplo, um grupo gerador de uso naval classificado. Quando for este o caso, a substituição do acoplamento, se necessária, somente deverá ser feita por outro idêntico.

## 16.2 – NÍVEIS DE RUÍDO

São quatro as fontes de ruídos no grupo Diesel-gerador:

**a)** **– Ruídos mecânicos:** Nas variações rápidas de pressão as freqüências próprias são levadas ao encontro da velocidade de deformação dos componentes sujeitos a essas pressões. Os excitadores mais importantes são as engrenagens de distribuição dos movimentos, as válvulas e seus mecanismos de acionamento, os êmbolos, a bomba injetora, os mancais da árvore de manivelas (ao suportar oscilações críticas), a

reverberação da base e de pontos de contato e, ainda, as provenientes da forças de inércia livres do acionamento da árvore de manivelas, que excitam as partes do motor ou são transmitidas à base ou chassis.

b) **– Ruídos da combustão:** são causados pelo rápido aumento da pressão na câmara de combustão ou vibrações de pressão provocadas por combustão anômala (batidas, etc.). A freqüência é de 0,5 até 2,5 kHz no primeiro caso ou 5 até 10 kHz no segundo. Estes ruídos se tornam mais desagradáveis quando os ruídos mecânicos são atenuados.

c) **– Ruídos por variação de carga:** são provocados pela pulsação do fluxo no sistema de sucção e de descarga. Os amortecedores de ruído não oferecem muita resistência ao fluxo contínuo mas amortecem os picos das pulsações. O filtro de ar amortece os pulsos da admissão e o silencioso de escape amortece os pulsos da descarga dos gases. As restrições máximas admissíveis são de ≈ 200 mm de coluna d'água para o filtro de ar e de ≈ 1.500 mm de coluna d'água para o silencioso de escape (motores de aspiração natural). O silencioso deve ter volume de 4 a 6 vezes a cilindrada do motor. Para motores turbo-alimentados a restrição máxima da descarga não deve ultrapassar 400 mm de coluna d'água.

d) **– Ruído dos ventiladores ou ventoinhas:** o ventilador do alternador, aliado ao movimento do rotor, bem como o ventilador do radiador do motor Diesel e, ainda, nos motores turbo-alimentados, o ruído dos rotores do turbo-alimentador, que se aguçam com o aumento da carga.

O nível de ruído, a sete metros de distância do grupo gerador, chega a 95 dB. Os recursos disponíveis para amortecimento desses ruídos são poucos, dada a dificuldade de se lidar com uma gama de freqüências e intensidade variadas. A solução mais adotada é o enclausuramento do equipamento em container com as paredes revestidas com material atenuador, o que possibilita uma redução do nível de ruído para até 75 dB. Esta providência implica no dimensionamento adequado das passagens para o fluxo de ar de alimentação do motor Diesel e para a refrigeração do radiador e do alternador, para não incorrer em perda de potência ou possibilidade de superaquecimento.

Quando a aplicação assim o exigir, podem ser adquiridos grupos geradores silenciados, montados em containeres com tratamento acústico para níveis de ruído abaixo de 75 dB.

A regulamentação quanto a níveis de ruído em áreas urbanas é da competência das prefeituras locais que, na maioria das cidades brasileiras, adotam o que estabelece a norma ABNT NBR10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.

## 16.3 – TANQUE DE COMBUSTÍVEL

Deve ter indicador externo de nível, tubo de respiro para equilíbrio da pressão interna com a atmosfera, boca de enchimento com tampa, separador de água e borra com dispositivo de drenagem total, pescador com filtro de tela com a admissão posicionada 50 mm acima da parte mais baixa do fundo, conexão para retorno de combustível e capacidade adequada ao consumo do motor Diesel. Pode ser construído em chapa de aço, P V C, alumínio, fibra de vidro, ou aço inoxidável, conforme as necessidades do cliente. Usualmente, utilizam-se tanques de chapa de aço carbono soldada. Neste caso, recomenda-se o tratamento da chapa com decapagem e pintura externa epóxi, preferencialmente. Não pintar o tanque internamente. Para a preservação das superfícies internas contra corrosão, a melhor prática é manter as paredes tratadas com óleo impermeável à água, enquanto o tanque não estiver em serviço.

É recomendável ainda que o tanque tenha uma escotilha ou tampa de visita que permita sua limpeza interna.

O respiro deve ser feito de forma que impeça a penetração de água e evite o risco de incêndio quando o tanque estiver muito cheio.

Para evitar faíscas provocadas por eletricidade estática, a conexão de enchimento e o tanque de combustível devem ser aterrados.

Em instalações com vários motores, o sistema de combustível deve ser dividido pelo menos em dois grupos independentes, para evitar que uma tubulação com defeito afete o funcionamento de todos os motores.

Para a ligação do tanque de combustível ao filtro no motor Diesel, deve-se evitar a utilização de tubos galvanizados, dada à possibilidade de desprendimento, ao longo do tempo, de partículas metálicas. Os diâmetros dos tubos, em função de comprimento e número de curvas, devem atender às recomendações do fabricante do motor quanto à vazão e pressão de combustível.

A conexão entre a tubulação e o filtro de combustível junto ao motor deve ser flexível, preferencialmente por mangueira com conexão giratória, o mais reta possível para evitar estrangulamento.

Sempre que possível deve-se instalar um filtro separador de água na linha de alimentação de combustível, entre o tanque e a bomba, o qual deve ser drenado diariamente. Este filtro não substitui o que é necessário manter na entrada da bomba injetora.

A pressão estática do combustível em relação à bomba injetora também deve atender às recomendações do fabricante do motor. Para os motores Cummins equipados com bomba PT, por exemplo, o nível máximo do tanque não pode ultrapassar a altura dos cabeçotes do motor, pois há risco de inundação dos cilindros com o combustível de retorno, quando o motor estiver parado, com graves riscos de acidente na ocasião da próxima partida. Em situações onde, obrigatoriamente, o tanque necessita ser colocado em posição mais alta, é necessário instalar um tanque auxiliar com sistema de bóia para amortecimento da pressão estática. Por outro lado, quando o tanque tem que ficar numa posição muito abaixo, é necessário prever um sistema de bombeamento auxiliar para o combustível.

A capacidade do tanque de combustível deve ser dimensionada em função do consumo específico do motor e da autonomia que se pretende, em horas de funcionamento a plena carga. Para efeito deste cálculo, podemos considerar um consumo específico médio de 170 g/CV.h e calcular a quantidade necessária de combustível por hora de operação do grupo gerador.

Exemplo:

Dimensionar um tanque de combustível para 6 horas de operação de um grupo gerador de 200 KVA.

*CV = (1,0878 x KVA)* $/\eta$ (vide 3.1). *Se tomarmos* $\eta$ *= 0,9 teremos CV = (1,0878 x 200)* $/$*0,9 <=> CV = 241,73 e o consumo de combustível = 241,73 x 170 <=> consumo = 41.084,10 g ou 41,08 kg. Como 1 litro de óleo Diesel pesa 0,85 kg, o consumo em litros será de 41,08* $/$*0,85 = 48,33 litros / hora. Para 6 horas, a capacidade do tanque será de 48,33 x 6 = 289,98 ou, em números redondos, 300 litros.*

As mudanças de temperatura diárias favorecem a condensação de água no tanque de óleo Diesel. Para minimizar os riscos de contaminação, é necessário manter o tanque cheio

quando o motor estiver parado. Diariamente, antes de dar a primeira partida, é necessário drenar a água que se acumula no fundo do tanque.

Existem bactérias que proliferam no óleo Diesel, formando depósitos pastosos esbranquiçados, que podem obstruir o filtro. A ocorrência de colônias dessas bactérias é mais freqüente em grupos geradores de emergência, que permanecem parados por longos períodos sem que o óleo do tanque seja renovado. Quando for o caso, é conveniente utilizar um filtro magnético, na linha de alimentação.

## 16.4 – CIRCULAÇÃO DE AR

Motores Diesel para grupos geradores refrigerados por radiador utilizam ventilador tipo *soprante*, ao contrário dos motores utilizados em outras aplicações, com o objetivo de retirar o calor irradiado para o ambiente ao mesmo tempo em que retira o calor acumulado na água de refrigeração. O alternador trabalha com um ventilador *aspirante* montado no próprio eixo, para retirar calor das bobinas, transferindo-o ao ambiente. Além disso, o motor necessita de ar limpo e fresco para o seu bom funcionamento.

O ar que passa através da colméia do radiador não deve retornar. A recirculação do ar aquecido produz perda de rendimento do motor e elevação da temperatura da água de refrigeração. Quando houver risco de recirculação de ar quente no ambiente, a saída do radiador pode ser canalizada para o exterior, por meio de um duto, cuja interligação com o radiador deve ser flexível (usualmente de lona), com área interna pelo menos 1,3 vezes a área da colméia do radiador.

As entradas de ar não devem restringir o fluxo. Quando for necessário instalar o grupo gerador em ambiente fechado, deve-se prover meios de circulação de ar sem queda de pressão superior a 2,0” (50 mm) de coluna d’água. Algumas vezes se verifica a necessidade de ventilação forçada. O fluxo de ar necessário varia em função da potência e demais características do equipamento e deve ser informado pelo fabricante.

O radiador utilizado em motores destinados a grupos geradores, assim como o ventilador, é projetado para uma capacidade 30% superior as necessidades do motor, prevendo que o calor irradiado para o ambiente será removido pelo ar circulante.

Muitos fabricantes de motores Diesel disponibilizam ventiladores diferentes em diâmetro e número de pás, para atender necessidades específicas inerentes à instalações especiais.

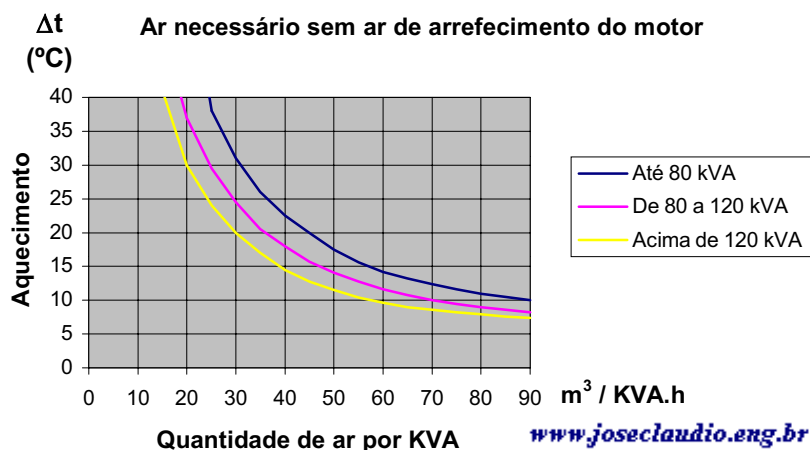
A montagem do ventilador, segundo recomendações dos fabricantes, deve ser feita em um defletor de ar direcionada à colméia do radiador, de forma que, para os ventiladores de pressão (soprante), 2/3 da pá fiquem *fora* do defletor, para captar o ar. Para os ventiladores de sucção (aspirante), 2/3 da pá devem ficar *dentro* do defletor, ao contrário dos ventiladores de pressão. A distância entre a extremidade da pá e o defletor deve ser da ordem de 6,0 mm, embora dificilmente se consiga este valor. A distância entre o ventilador e a colméia do radiador deve ser de 1/3 vezes o diâmetro do ventilador, mas nunca inferior a 120 mm.

### 16.4.1 – CÁLCULO DA QUANTIDADE DE AR

A ventilação da sala de máquinas é indispensável a uma operação sem problemas do grupo gerador.

Tal como foi mencionado, é necessária uma quantidade considerável de ar para arrefecimento do radiador, troca de calor do alternador, combustão do motor Diesel e

arraste do calor irradiado pelas partes quentes do motor, como bloco, cabeçotes, turbo-alimentador, coletor e tubulação de escapamento.

A fim de se manter no mínimo possível o calor irradiado e, por conseguinte, o volume de ar de arrefecimento, os tubos de escape e silenciadores, localizados dentro do edifício, deverão ser sempre revestidos com material termo-isolante.

O diagrama acima, mostrando as quantidades de ar exigidas para a dissipação do calor irradiado pelo motor, o calor devido às perdas do alternador e incluindo o ar de combustão necessário às diversas diferenças de temperatura admissíveis por kVA, satisfaz plenamente, para uma elaboração de projeto.

Em casos especiais, pode ser necessário um cálculo separado das quantidades de ar de arrefecimento, que também será visto a seguir.

## 16.4.1.1 – CALOR IRRADIADO PELO MOTOR DIESEL

Geralmente, o calor irradiado pelo motor Diesel é indicado como uma percentagem do calor contido no combustível injetado.

Os valores seguintes podem ser tomados como base para o cálculo das quantidades de calor irradiado e de ar.

| | |
|---|---|
| Até 100 CV | 6% |
| De 100 a 500 CV | 5% |
| Acima de 500 CV | 4% |
| Para Motores refrigerados a ar (todos) | 7% |

As percentagens são valores de referência, pois é muito difícil determinar os valores exatos do calor irradiado.

Para motores turbo-alimentados, os valores podem ser tomados com cerca de 1% abaixo e para motores com pequeno número de cilindros os valores podem ser bastante superiores. O tubo coletor de escape montado no motor está sendo considerado, mas não a tubulação do escape que vai além.

O calor total, irradiado pelo motor Diesel, é calculado como segue, pressupondo que os tubos de escape, de considerável comprimento, estejam isolados.

| | |
|---|---|
| $P_A$ (KVA) | = Potência do alternador |
| $P_D$ (CV) | = Potência efetiva do motor |
| $H_u$ (kCal/kg) | = Valor calorífico do óleo Diesel = 10.000 |
| $b_c$ (kg/CV.h) | = Consumo específico de combustível do motor Diesel, segundo DIN 6270. A tolerância é de mais 5% sobre o valor informado pelo fabricante. |
| $c_p$ (kCal/m$^3$ °C) | = Calor específico do ar = 0,31 |
| $t_{L1}$ (°C) | = Temperatura máxima do ar externo, medida por quatro horas consecutivas |
| $t_{L2}$ (°C) | = Temperatura ambiente máxima admitida no recinto. Geralmente, para o alternador 40°C. Para o motor Diesel, acima de 20°C há redução de potência. (vide capítulo 3) |
| $\Delta_{tL}$ (°C) | = $t_{L2}$ - $t_{L1}$ |
| $V_S$ | = Quantidade de ar para dissipar o calor irradiado pelo motor |
| $V_A$ | = Quantidade de ar para dissipar o calor devido às perdas do alternador |
| $Q_{St}$ (kCal/h) | = Calor total irradiado a ser dissipado por hora |
| $Q_{StD}$ (kCal/h) | = Calor total irradiado pelo motor Diesel |
| $q_{StD}$ (%) | = Calor específico irradiado pelo motor Diesel, como uma percentagem do calor admitido (quantidade de combustível injetado) |
| $Q_{StA}$ (kCal/h) | = Calor devido às perdas do alternador |
| $\eta_A$ (%) | = Rendimento do alternador |
| $V_L$ (m$^3$/h) | = Consumo de ar |
| $V_v$ (m$^3$/h) | = Consumo de ar de combustão |
| $v_v$ (m$^3$/CV.h) | = Consumo de ar específico de combustão |
| $k$ | = Coeficiente de correção para o nível do barômetro e temperatura. Para um estado de referência conforme DIN 6270, k = 1,1 |

O calor total, irradiado pelo motor Diesel, é:

$$Q_{StD} = \frac{P_D . b_c . H_u . q_{StD}}{100}$$

### 16.4.1.2 – CALOR DEVIDO ÀS PERDAS DO ALTERNADOR

O calor devido às perdas do alternador é calculado como segue:

$$Q_{StA} = P_A . \cos\varphi . \left( \frac{100}{\eta_A} - 1 \right) .860 \qquad \text{(kCal/h)}$$

Se o rendimento do alternador não é conhecido, adotar 85% para alternadores até 100 KVA e 90% para alternadores maiores que 100 KVA.

## AR DE COMBUSTÃO

A quantidade de ar de combustão só poderá ser adicionada à demanda total de ar se ele for aspirado da sala das máquinas. Para um cálculo aproximado das quantidades de ar de combustão, $\boldsymbol{v_v}$ **= 4 m³/CV.h** pode ser admitido para motores de aspiração natural e cerca de **4,5 m³/CV.h** para motores turbo-alimentados.

A quantidade de ar de combustão por hora é $V_v = P_D . v_v$ (m³/h).

A quantidade total de ar é, como segue: $V_L = V_v + (V_{StA} + V_{StD}) . k$

Ou

$$V_L = V_v + \frac{Q_{StD} + Q_{StA}}{c_p . \Delta_{tL}} . k \qquad \text{em m}^3\text{/h.}$$

$$V_S = \frac{Q_{StD}}{c_p . \Delta_{tL}} \qquad \text{e} \qquad V_A = \frac{Q_{StA}}{c_p . \Delta_{tL}}$$

Conversão de unidades: kW – CV – kCal

| | | |
|---|---|---|
| 1 (kW) | 860 (kCal/h) | 1,36 (CV) |
| 1 (CV) | 632 (kCal/H) | 0,74 (kW) |
| 1.000 (kCal/h) | 1,575 (CV) | 1,16 (kW) |

**Exemplo de cálculo:**

Potência nominal do motor: 400 HP (turbo-alimentado).

(= 400 x 1,014 = 405,6 CV),

Potência do alternador: 330 KVA

$\cos\varphi = 0,8$

$\eta_A = 0,92$

$t_{L1} = 25°C$

$t_{L2} = 40°C$

Consumo específico de combustível = 180 g/CV.h

Condições atmosféricas = 25°C e 610 mm Hg

**Cálculos:**

Calor irradiado pelo motor: $Q_{StD}$ = (405,6 x 0,185 x 10.000 x 4) | 100

$Q_{StD}$ = 30.014,4 kCal/h

Calor devido à perda do alternador: $Q_{StA}$ = 330 x 0,8 x {(100 | 92) - 1} x 860

$Q_{StA}$ = 19.742,60 kCal/h

Quantidade total de calor a ser dissipada: $Q = Q_{StD} + Q_{StA}$ = 49.757 kCal/h

Ar de combustão: $V_v$ = 405,6 x 4,5 ⇔ $V_v$ = 1.822,5 $m^3$/h

Coeficiente de correção: $k$ = 1,25 (vide correção das condições atmosféricas)

Quantidade total de ar necessário: $V_L$ = 1.822,5 + {(49.757 x 1,25) ÷ (0,31 x 15)}

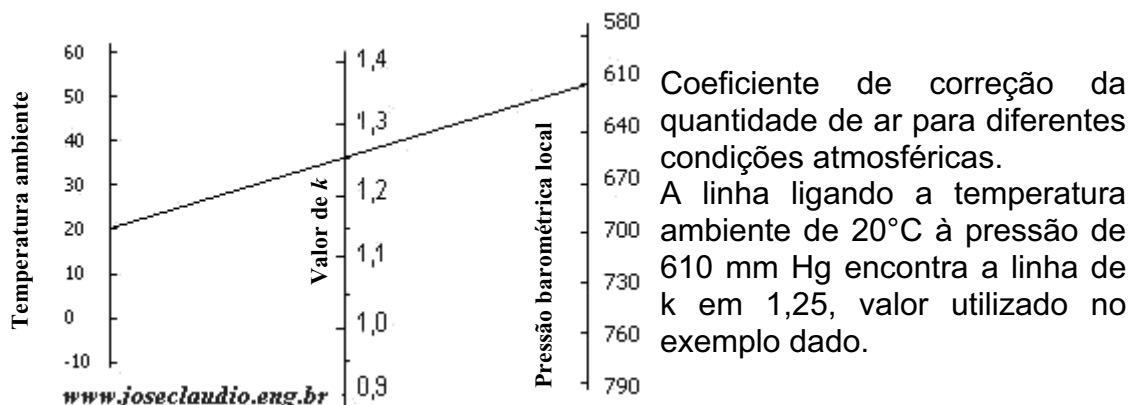
$V_L$ = 15.198,03 $m^3$/h

Se utilizássemos o gráfico da página anterior, teríamos encontrado, para 15°C de elevação de temperatura admissível, ≈ 40 $m^3$/KVA.h, que multiplicados pela potência do alternador, 330 KVA, com o fator de correção $k$ = 1,25, resultaria em 16.500 $m^3$/h.

## 16.4.1.3 – CORREÇÃO POR INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Todos os cálculos de volume de ar tem por base o peso específico do ar de 1,291 kg/$m^3$ a 0°C e 760 mm Hg e 60% de umidade relativa. O peso específico é reduzido em aproximadamente 0,045 kg/$m^3$ para cada elevação da ordem de 10°C dentro da gama de temperaturas ocorrentes para este cálculo. Para cada 10 mm Hg de redução na pressão do ar, o peso específico é reduzido em 0,015 kg/$m^3$.

No caso de condições atmosféricas consideravelmente divergentes dos valores normais, estas correlações devem ser levadas em conta mediante um coeficiente de correção "$k$", com o qual é multiplicada a quantidade de ar $\boldsymbol{V_L}$ encontrada. O coeficiente de correção resultará do ábaco a seguir, desde que a temperatura e a pressão barométrica existente no local da instalação sejam conhecidas.

Coeficiente de correção da quantidade de ar para diferentes condições atmosféricas.
A linha ligando a temperatura ambiente de 20°C à pressão de 610 mm Hg encontra a linha de k em 1,25, valor utilizado no exemplo dado.

## 16.4.1.4 – AR DE ARREFECIMENTO PARA RADIADOR DE ÁGUA

O tipo de arrefecimento utilizado na maioria dos grupos geradores é por radiador com circuito fechado. Outros tipos de arrefecimento, como torre, trocador de calor, arrefecimento a ar e circuito aberto com água perdida não serão abordados no presente trabalho.

No sistema com radiador, o calor é transferido do motor para a água e desta para o ar que é pressionado por um ventilador. Se necessário, o ventilador poderá ser acionado por um motor elétrico e instalado independentemente do motor Diesel (montagem remota). O abastecimento de água é efetuado apenas uma vez, sendo que somente pequenas quantidades de água deverão ser adicionadas em virtude das eventuais perdas por vazamento evaporação.

No caso de arrefecimento por ventilador, o considerável fluxo de ar serve também para a ventilação da sala de máquinas e a dissipação do calor irradiado, eliminando, assim, a necessidade de uma instalação de ventilação separada na sala de máquinas. Para que a velocidade do ar na sala de máquinas não seja muito alta, a renovação não deverá se fazer mais de 100 vezes por hora.

***ARREFECIMENTO POR VENTILADOR ACOPLADO AO MOTOR – VALORES DE REFERÊNCIA.***

**a) Para motores com injeção direta:**

- 60 $m^3$/CV.h a temperatura ambiente de 30°C;
- 75 $m^3$/CV.h a temperatura ambiente de 37°C e
- 85 $m^3$/CV.h a temperatura ambiente de 45°C.

A quantidade de calor dissipada pela água é de 550 kCal/CV.h, para motores abaixo de 100 CV e de 450 kCal/CV.h para motores maiores que 100 CV.

**b) Para motores com câmara de pré-combustão:**

Cerca de 15% acima do necessário para os motores com injeção direta.

A quantidade de calor dissipada é, aproximadamente, de 650 kCal/CV.h para motores abaixo de 100 CV e de 600 kCal/CV.h para motores acima de 100 CV.

**c) – As temperaturas de operação para os motores são:**

- Até 100 CV: entre 65°C e 95°C, aproximadamente;
- Até 200 CV: entre 65°C e 90°C, aproximadamente e
- Acima de 200 CV: entre 65°C e 85 °C.

A diferença máxima de temperatura da água na entrada e na saída não deve ser superior a 10°C.

A circulação de água é de cerca de 70 a 80 litros/CV.h.

Um coletor de escape refrigerado a água (mufla), dependendo da sua construção, pode dissipar uma quantidade de calor de 100 a 180 kCal/CV.h.

Para produzir potência plena e obter uma operação isenta de desgaste, o motor deve atingir a sua temperatura operacional o mais rapidamente possível. Por esta razão, a água de arrefecimento é conduzida do motor, diretamente para a bomba, através dos termostatos e das tubulações de desvio, antes de atingir a temperatura operacional. Somente após ter atingido a temperatura operacional é que os termostatos liberam a passagem, automaticamente, para o radiador.

A queda de pressão admissível nos dutos de entrada e saída do ar é de 20 mm de coluna d'água, sendo esta queda de pressão total entre o lado de sucção e o de descarga do ventilador. Em caso de uma queda de pressão maior, deve-se instalar um ventilador adicional.

Quando houver necessidade de instalação remota do radiador, é necessário considerar as pressões e vazões requeridas pelo motor, para o dimensionamento das tubulações. A distância e altura não devem gerar contrapressão superior `a capacidade da bomba do motor. Se houver necessidade, pode-se instalar uma bomba elétrica para fazer circular a água.

## 16.5 – GASES DE ESCAPE

O sistema de escapamento de gases deverá ser cuidadosamente projetado, porque uma execução inadequada influenciará a potência, bem como o nível de ruído do motor. Em nenhuma circunstância poderá a contrapressão, no sistema de escapamento, exceder o valor permitido pelo fabricante do motor. Em casos de temperatura excessiva dos gases de escape, a contrapressão no coletor de escape ou a temperatura do ar de admissão é inadmissivelmente alta.

Os valores de resistência máximos admissíveis do sistema de escapamento total são os seguintes:

Para motores com aspiração natural: 600 a 1.200 mm de coluna d'água.

Para motores turbo-alimentados: 250 a 500 mm de coluna d'água.

A resistência ao fluxo é medida imediatamente na extremidade do tubo de escape ou na parte posterior o turbo-alimentador.

A tubulação deve ser constituída por um tubo de aço carbono, com espessura mínima da parede de 3,0 mm, pois deve ser considerado um desgaste acentuado, devido ao calor e à umidade. Para tubulação com comprimento além de 5 metros aproximadamente, deverá ser previsto um tubo de diâmetro maior, de acordo com as instruções do fabricante do motor. O aumento deverá corresponder ao comprimento total da tubulação, incluindo os cotovelos e deve ter início imediatamente na saída do coletor ou da peça de conexão flexível.

Tubos de maiores comprimentos e diâmetros menores do que os recomendados pelo fabricante do motor aumentarão a resistência e a temperatura do motor, diminuindo, portanto, sua vida útil.

Para a conexão do coletor de escape do motor com a tubulação instalada rigidamente, deverá ser empregada uma peça de conexão flexível, instalada diretamente no motor, a fim de compensar as vibrações e a expansão térmica . A tubulação não poderá transmitir quaisquer esforços ao motor, especialmente se for turbo-alimentado, onde a conexão flexível é montada diretamente na saída do turbo-alimentador. Como a maioria dos grupos geradores são elasticamente apoiados, os tubos estão sujeitos não apenas à expansão

térmica, mas também a vibrações, que poderão ser particularmente intensas quando da partida e parada do motor Diesel.

A tubulação de escape de diversos motores não deve desembocar numa tubulação comum, porque a contrapressão e o refluxo dos gases de exaustão provocam a formação de sedimentos quando o motor não estiver funcionando, colocando em risco a segurança operacional.

Devem ser adotadas as mesmas medidas de proteção, tanto para tubos de admissão quanto para tubos de escape, contra a entrada de água de chuva e respingos. A entrada de água no motor pode causar danos consideráveis ocasionados pela corrosão ou por calço hidráulico na partida.

Nos motores em "V", é mais conveniente combinar os dois tubos de escape, a fim de facilitar sua disposição e suprimir o ruído.

Os cálculos de escoamento de gases através de tubulações apresentam um certo nível de complexidade. Em determinados casos, não se pode evitar executar os cálculos com certa precisão, porém, nas aplicações mais freqüentes, podemos adotar gráficos e fórmulas empíricas para avaliar as dimensões das tubulações de escape de uma forma mais prática.

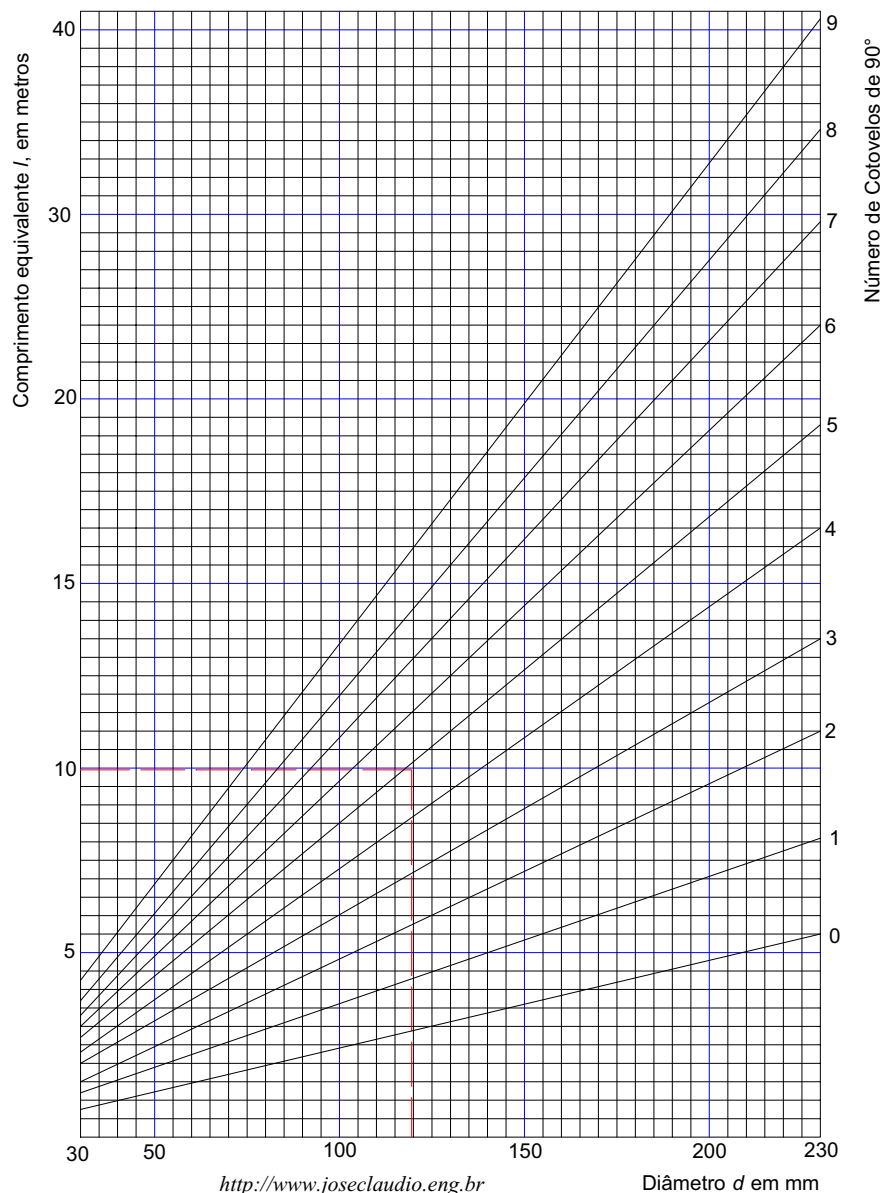
O método mais simples, consiste em:

a) – medir o comprimento geométrico da tubulação;

b) – calcular as perdas de carga, devidas às curvas ou outros acidentes, com o auxílio de tabelas aplicáveis;

c) – somar o comprimento geométrico ao comprimento equivalente das perdas de carga para encontrar o comprimento total.

d) – conhecendo-se a vazão dos gases de escape (deverá ser informada pelo fabricante do motor Diesel), calcula-se um diâmetro para a perda de carga desejada ou adota-se um valor de diâmetro conhecido e testa-se pelas fórmulas se a perda de carga produzida atende aos requisitos da instalação.

A tabela abaixo fornece os comprimentos equivalentes para as curvas de 90° de tubulações de escape. As curvas de 45° devem ser consideradas como a metade das de 90°. Não utilizar curvas (joelhos) com raio menor do que 2,5 vezes o diâmetro do tubo. Evitar a utilização de curvas de gomos, sempre que possível. Não havendo outra alternativa, considerar os valores de perda de carga em dobro dos indicados na tabela abaixo.

Para o cálculo das resistências ao fluxo em tubulações de escape são válidas as fórmulas abaixo, onde:

| | |
|---|---|
| ***d*** | = diâmetro interno do tubo em (m) |
| ***g*** | = 9,81 m/s$^2$ |
| ***G*** | = vazão dos gases de escape (kg/h) |
| ***L*** | = $l + \Sigma l'$ = comprimento total da tubulação (m) |
| ***P*** | = potência do motor (CV) |
| ***q*** | = quantidade específica de gases de escape (kg/CV.h) |
| ***R*** | = raio médio do cotovelo (m) |
| ***t*** | = Temperatura dos gases de escape (°C) |
| ***w*** | = Velocidade dos gases de escape (m/s) |
| $\gamma$ | = peso específico (kg/m$^3$) $\geqslant \gamma = 1{,}29$ |
| $\lambda$ | = $0{,}01(k'/d)^{0{,}314}$ = coeficiente de resistência segundo Hopf |
| $\Delta P_g$ | = resistência total do fluxo (kg/m$^2$ ou mm de c.a.) |

$$\Delta_{Pg} = \frac{\lambda . L . \gamma . w^2}{2 g . d}$$ Em kg/m²

Para um tubo de 1 m *k'* = 7 e 760 mm Hg, pode-se deduzir a seguinte fórmula:

$$\Delta_P = \frac{1{,}174 . G^2}{10^{10} . d^{5{,}314} . \gamma}$$ Em mm c.a./m de tubo.

**Exemplo de cálculo:**

**Dados:**

***P*** = 500 CV

***q*** = 7,5 kg/ CV.h

*l* = 15 metros de tubo reto de 200 mm de diâmetro interno.

3 curvas de 90°, ***R/d*** = 2 e 1 curva de 45° ***R/d*** =2

**Solução:**

***G = P.q*** ⇔ 500 x 7,5 = 3.750 kg/h

*l'* = 24 + 7 = 31 m (3 cotovelos com R/d < 2,5 considerados em dobro e curva de 45° também com R/d < 2,5 considerada igual a uma curva de 90°, na tabela da página anterior, para tubo de 200 mm de diâmetro.)

$\Delta_P$ = 6,63 mm de coluna d'água por metro de tubo

***L*** = *l* + Σ*l'* ⇔ ***L*** = 15 + 31 = 46 metros

$\Delta P_g$ = $\Delta_P$ x ***L*** ⇔ 6,63 x 46 = 305 mm de coluna d'água.

Ao valor encontrado é necessário adicionar a perda de carga inerente ao silencioso de escape, quando for o caso, e comparar com os valores admitidos de 600 a 1200 mm de coluna d'água para motores de aspiração natural e de 250 a 500 mm de coluna d'água para motores turbo-alimentados.

Em geral, os silenciadores para uso industrial, com volume de 4 a 6 vezes a cilindrada do motor, oferecem uma resistência de 150 a 200 mm de coluna d'água.

## 17 – CUIDADOS PRINCIPAIS DE OPERAÇÃO

Manter registro das horas de operação e consumo de água, combustível e óleo lubrificante, bem como das intervenções de manutenção e/ou reparos.

Quando for necessário fazer solda elétrica na base ou em local próximo ao grupo gerador, desligar os cabos entre as baterias e o alternador de carga das mesmas, para preservar os diodos retificadores do regulador.

Não operar o grupo gerador em marcha lenta a menos que o mesmo seja provido de um dispositivo para desligar o regulador automático de tensão do alternador (ou a excitatriz estática, quando for o caso) durante os períodos de operação em marcha lenta. Como a regulação da tensão independe da freqüência, com o motor trabalhando em rotação baixa, o regulador automático de tensão irá suprir corrente para o campo com o objetivo de alcançar a tensão nominal, elevando a corrente de excitação a valores que poderão danificar os seus circuitos.

Não se deve parar o motor imediatamente após um período de operação sob carga, pois o calor armazenado nas massas de ferro provocará ebulição da água em volta das camisas e nas passagens do cabeçote, se o fluxo for interrompido repentinamente. Nos grupos geradores com sistema de partida e parada automáticas este tempo de trabalho em vazio deve ser ajustado para 3 a 5 minutos. Nos motores turbo-alimentados, este procedimento é particularmente importante para evitar que turbo-alimentador permaneça girando sem lubrificação após a parada do motor.

Diariamente é necessário verificar os níveis do óleo lubrificante e da água do radiador.

Não permitir que o motor trabalhe sem a tampa do radiador ou do tanque de expansão, conforme o caso. Quando as vedações das tampas se danificam, é necessário substituí-las por novas. A ausência de pressão no sistema de refrigeração do motor propicia cavitação nas camisas dos cilindros, podendo danificá-las com poucas horas de serviço.

Ao dar partida, não acionar o motor de partida por mais de 30 segundos continuamente. Após cada período de 30 segundos de acionamento, aguardar de 3 a 5 minutos para tentar nova partida. Este procedimento é necessário para preservar o motor de partida, uma vez que a temperatura do enrolamento do mesmo se eleva rapidamente quando em serviço.

Na medida do possível, manter sempre cheio o tanque de combustível.

Diariamente inspecionar o equipamento quanto a vazamentos de combustível, lubrificante ou água de refrigeração. Se constatar alguma irregularidade, providenciar correção antes de utilizar o grupo gerador.

Não deixar o grupo gerador sem funcionar por longos períodos. Acioná-lo, no mínimo, durante meia hora sob carga uma vez por semana.

Drenar diariamente os sedimentos do tanque de combustível e do filtro separador de água.

Quando o grupo gerador tem como consumidores diversos motores elétricos, observar que primeiro deve-se partir os motores de maior potência.

Não operar o grupo gerador com baixa pressão de óleo lubrificante, temperatura da água de refrigeração alta, ruído anormal, excesso de fumaça ou vazamentos nos sistemas de refrigeração, lubrificação ou de combustível.

Grupos geradores equipados com sistema de partida automática podem ser acionados por uma interrupção no fornecimento de energia elétrica a qualquer momento. Portanto, quando ligados nesta condição, devem estar abastecidos de água, combustível e óleo lubrificante, bem como sem nada nas proximidades que possa interferir com o seu funcionamento.

## 18 – MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Em primeiro lugar, atentar para as recomendações do fabricante, contidas na documentação técnica fornecida.

O grupo gerador não deve visto como um equipamento isolado mas, sim como o item principal do sistema alternativo de abastecimento de energia elétrica, que, como um todo, merece atenções específicas, dependendo de cada instalação.

Em linhas gerais, o grupo gerador, além dos cuidados diários de operação, exige pouca manutenção.

Os fabricantes recomendam, primordialmente:

I. Efetuar as trocas de óleo lubrificante e filtros. Utilizar óleo e filtros adequados e, se possível, de boa qualidade;

II. Inspeção diária quanto a vazamentos de óleo lubrificante, água e combustível;

III. Antes de colocar o grupo gerador em serviço, verificar níveis de água do radiador e de óleo lubrificante;

IV. Durante o funcionamento do grupo gerador observar se há ruídos anormais;

V. Drenar diariamente o sistema de combustível (tanque e filtros, para evitar o acúmulo de água que possa danificar os componentes do sistema de injeção);

VI. Limpeza e substituição dos elementos de filtro de ar;

VII. Inspeção periódica do sistema de admissão de ar;

VIII. Limpeza do radiador e troca da água de refrigeração, nos períodos recomendados;

IX. Regulagem das folgas de válvulas;

X. Inspeção da tensão das correias e ajuste quando necessário;

XI. Inspeção do cubo e demais componentes de acionamento do ventilador;

XII. Revisão do turbo-alimentador, com substituição das vedações internas e balanceamento dinâmico dos rotores (melhor substituir o turbo a base de troca)

XIII. Medir a resistência de isolação do alternador; Se necessário, fazer a “secagem” das bobinas;

XIV. Lubrificar os rolamentos do alternador;

XV. Reapertar cabos e conectores elétricos;

XVI. Substituir mangueiras ressecadas;

XVII. Completar o nível do eletrólito das baterias;

XVIII. Manter os bornes de baterias untados com vaselina neutra, para evitar a formação de crostas de óxidos;

XIX. Revisar bomba e bicos injetores e

XX. Inspecionar o amortecedor de vibrações;

# GRUPOS GERADORES – SISTEMAS DE CONTROLE

O mercado brasileiro não era receptivo aos controles eletrônicos para grupos geradores até o advento da tecnologia digital neste segmento.

Havia um entendimento geral de que os controles para grupos geradores deveriam ser simples de operar e oferecer o máximo em termos de facilidades de manutenção. As inovações eletrônicas introduzidas pelos fabricantes eram limitadas, já que a maior parcela do volume das suas vendas era gerada por encomendas sob especificação, as quais recusavam componentes desconhecidos. Os montadores, buscando competitividade, ofereciam muitas alternativas, resultando daí que os clientes, usuários de muitos equipamentos, como as empresas de telecomunicações e outros, não conseguiam um nível de padronização aceitável para os seus equipamentos, como ainda ocorre atualmente. Na década de 70, começaram a surgir os primeiros controles eletrônicos montados no Brasil e como havia a proteção de mercado para a industria nacional, praticamente nenhuma tecnologia importada era acrescentada aos produtos vendidos na época. Além disso, as primeiras unidades lançadas no mercado apresentavam desempenho medíocre e falhas constantes, acabando por cair no descrédito do consumidor. Existia ainda uma certa rejeição por parte das empresas de telecomunicações que, como maiores usuários de grupos geradores, eram formadoras de opinião, tornando os controles eletrônicos aceitáveis por outros clientes apenas em função de preço, uma vez que eram mais baratos. A despeito disso, muitas unidades foram vendidas e ainda estão em operação até hoje.

Somente em 1996 os controles eletrônicos para grupos geradores alcançaram o segmento de telecomunicações, quando a Embratel adquiriu a sua primeira *Unidade de Supervisão de Corrente Alternada* eletrônica, fabricada sob encomenda e com a supervisão dos engenheiros do Departamento de Energia da Embratel, resultando daí o equipamento padrão Telebrás.

As empresas de telecomunicações, diante da diversidade de produtos existentes no mercado, e com o objetivo de padronizar os grupos geradores utilizados por elas, elaboraram normas técnicas específicas para serem observadas pelos seus fornecedores, nascendo daí algumas nomenclaturas hoje bastante difundidas entre os usuários de grupos geradores, tais como:

USCA = Unidade de Supervisão de Corrente alternada

QTM = Quadro de Transferência Manual

QTA = Quadro de transferência Automática

QGD = Quadro Geral de Distribuição

QDCA = Quadro de Distribuição de Corrente Alternada e outras siglas aplicáveis aos dispositivos de corrente contínua.

Conceitualmente, há diferenças entre as práticas adotadas nos mercados americano e europeu. Nós, no Brasil, assimilamos os padrões europeus com maior facilidade, provavelmente porque as nossas normas técnicas derivam, em muitos casos, das normas européias e porque somos familiarizados com o sistema métrico. Assim, definimos os nossos sistemas em KVA, enquanto nos Estados Unidos, o padrão é definir as potências em kW, independentemente de fator de potência. Para nós, o entendimento é de que o QUADRO DE COMANDO do grupo gerador é um componente à parte, afeto à parte elétrica do sistema. Entendemos que o quadro de comando deve ser separado, onde todos os dispositivos de supervisão e controle são instalados, à distância do motor Diesel (Padrão Telecomunicações). Na maioria dos casos, não é aceitável o que se denomina de QUADRO

DE COMANDO INTEGRADO ou INCORPORADO, conceito já há muito difundido nos Estados Unidos e Europa.

Decorrente da prática ao longo do tempo, para a maioria dos usuários, QUADRO DE COMANDO AUTOMÁTICO ou USCA, inclui a Chave de Transferência Automática de Carga. Somente em casos excepcionais, em função das distâncias envolvidas na instalação, visando a economia de cabos, admite-se a utilização de QTA (Quadro de Transferência Automática) à distância, em separado da USCA.

A grande maioria das especificações técnicas elaboradas pelas empresas de engenharia para aquisição de grupos geradores, prevê a utilização de um único quadro de comando auto-suportado, onde se encontram controles, instrumentos e chave de transferência automática.

Somente a partir do advento dos controles digitais observa-se a tendência de mudança destes conceitos. Por entender que esta tecnologia é mais confiável, o consumidor tende aceitar mais facilmente o "*Quadro de Comando Integrado*". Há, ainda, a dificuldade de aceitação do fato de alguns dispositivos serem inerentes exclusivamente à Chave de Transferência (em armário à distância), como os sensores de tensão e freqüência, por exemplo. Portanto, o conceito de montagem dos grupos geradores importados ainda encontra algumas resistências no mercado brasileiro, resultantes de práticas enraizadas no passado.

É de ressaltar, também, que durante muitos anos, os grupos geradores, na sua maioria, eram fornecidos sob encomenda fazendo com que os montadores não pudessem manter um padrão construtivo. Os produtos considerados "*de linha*" não correspondiam exatamente às exigências dos clientes. Ainda hoje, freqüentemente, vemos especificações técnicas que só podem ser atendidas com produtos fabricados especialmente, sob encomenda. São os que os fabricantes/montadores chamam de "*grupos geradores engenheirados*", que alguns até declinam de fornecer, por incluírem dispositivos pouco usuais e documentação técnica específica e complicada.

Outra característica do mercado brasileiro, em relação a controles, está diretamente relacionada ao conhecimento técnico do produto por parte do comprador/usuário.

Há uma parcela significativa de usuários, onde se concentra o maior volume de unidades vendidas (potências inferior a 500 KVA), que adquire pelo menor preço sem diferenciar o produto. O comprador/usuário não distingue entre este ou aquele tipo de controle, marca ou modelo de motor Diesel e alternador. Para atender estes clientes, são fabricados os alternadores industriais, com excitação estática e sem preocupações técnicas quanto à distorção harmônica, forma de onda e outras características. Todos os componentes utilizados são os de menor custo possível.

No outro segmento estão os clientes que tem algum conhecimento técnico ou se assessoram de consultores para fazer aquisição e instalação do seu grupo gerador, identificando suas reais necessidades e adquirindo a solução para o seu problema de energia e não somente um grupo gerador. Nestes casos, há uma especificação técnica com requisitos mínimos a serem atendidos pelo fornecedor do equipamento.

Atualmente, podemos encontrar no mercado brasileiro diversos controles para os grupos geradores comercializados. Dentre os principais, destacamos os seguintes:

**NOTA:**

As características estão sujeitas a alterações sem aviso prévio pelo fabricante e, em função de evolução tecnológica, podem estar desatualizadas.
Durante a elaboração deste levantamento, certamente, novos produtos estão sendo desenvolvidos e em breve serão disponibilizados, trazendo inovações de conceitos e de tecnologia.

- Detector e PowerCommand – Cummins Power Generation;
- EMCP II e EMCP II+ - Caterpillar;
- DEC340 – Decision Maker – Kohler;
- ST2000 – Stemac;
- SMART GEN – Atos Automação Industrial
- LSM2001 – Light Service;
- M50, M150, S2500, R3000, A400 e MICS *Process II* – SDMO;
- RGAM – LOVATO;
- USCAMAQ – Maquigeral;
- H606, DPC-560 e DPC-750 – Leon Heimer e
- Novos Produtos Woodward.

<table>
<tr><td rowspan="4"></td><td colspan="2">CUMMINS POWER GENERATION<br>Sistema de Controle Detector12</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Partida Automática Remota<br>• Componentes de controle projetados para suportar os níveis de vibração típicos de grupos geradores<br>• Controla Partida e Parada do Grupo Gerador</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descrição do Controle Detector 12 Lâmpadas (NFPA 110)</td></tr>
<tr><td>• Monitor do motor com 12 lâmpadas (Nível NFPA 110)<br>• Contato de Alarme Comum<br>• Termômetro da água<br>• Controle do ciclo de partida<br>• Voltímetro CC<br>• Disjuntor do Campo<br>• Sinais Individuais de Relé 1/2 A</td><td>• Botão de Teste de Lâmpadas<br>• Manômetro do óleo Lubrificante<br>• Partida Remota, 12 V, 2 fios<br>• Botão de Reset<br>• Chave Operando/Desligado/Automático<br>• Indicador de horas de operação</td></tr>
<tr><td colspan="2">Características Standard</td><td>Características Opcionais</td></tr>
<tr><td>• Potenciômetro para Ajuste de até 5% da tensão<br>• Amperímetro (Escala dupla)<br>• Voltímetro CA (Escala dupla)<br>• Freqüencímetro/Tacômetro em dupla escala<br>• Instrumentos do motor<br>• Parada por Alta Temperatura (Lâmpada Vermelha)<br>• Alarme de Baixa Temperatura (Lâmpada Amarela)<br>• Parada por Baixa Pressão do Óleo Lubrificante (Lâmpada Vermelha)</td><td>• Parada por Falha na Partida (Lâmpada Vermelha)<br>• Parada por Sobrevelocidade (Lâmpada Vermelha)<br>• Pré-alarme de Alta Temperatura da água (Lâmpada Amarela)<br>• Pré-alarme de Baixa Pressão do Óleo Lubrificante (Lâmpada Amarela)<br>• Indicador de Funcionamento (Lâmpada Verde)<br>• Dois Contatos de Defeito Definidos pelo Cliente (Lâmpada Vermelha)<br>• Chave Seletora de Fases para amperímetro e Voltímetro</td><td>• Alarme Sonoro<br>• Parada de Emergência<br>• Alarme de Baixa Tensão da Bateria<br>• Alarme ou Parada por Baixo Nível do Líquido de Arrefecimento<br>• Conjunto de sinalização Remota de Defeito<br>• Potenciômetro de Ajuste de Rotação<br>• Temporizador de Partida/Parada<br>• Parada Por Baixo Nível de Combustível<br>• Alarme de Vazamento no Tanque de Combustível</td></tr>
</table>

## CUMMINS POWER GENERATION
## Controle PowerCommand® com Proteção AmpSentry™

- Regulador automático de tensão e governador de rotação do motor integrados
- A Proteção AmpSentry garante a integridade elétrica do alternador e do sistema de energia elétrica contra os efeitos resultantes de condições de excesso de corrente, pico/queda de voltagem, queda de freqüência e sobrecarga
- Componentes de controle projetados para suportar os níveis de vibração típicos de grupos geradores

**Descrição do Controle Standard**

| | |
|---|---|
| • % de Corrente (amps.) - analógico<br>• Freqüencímetro CA analógico<br>• Voltímetro CA analógico<br>• % de Carga (kW)<br>• Controle do ciclo de partida<br>• Tela digital de Indicação<br>• Botão de parada de emergência<br>• Controle de marcha lenta<br>• Tecla de menu | • Painel com iluminação traseira<br>• Partida remota, 12 ou 24 V, 2 cabos<br>• Tecla de reinicialização (Reset)<br>• Chave do modo de Funcionamento Automático/Manual/Desligado<br>• Painel dianteiro vedado, porta com guarnição<br>• Autodiagnóstico<br>• Caixa para interconexões do cliente em separado<br>• Seletor de fase do Voltímetro/Amperímetro |

| Funções Padrão de Proteção | | Dados de Desempenho Padrão |
|---|---|---|
| **Alertas**<br>• Alta Temperatura da Água do Radiador<br>• Tensão CC Alta<br>• Baixa Temperatura da Água do Radiador<br>• Tensão CC Baixa<br>• Baixa Pressão de Óleo Lubrificante<br>• Sobrecorrente<br>• Falha do Sensor de Pressão de Óleo<br>• Contato Seco para comando de rejeição de Carga, em caso de sobrecarga<br>• Falha do Sensor de Temperatura<br>• Até 4 Falhas Definidas pelo Cliente<br>• Bateria Fraca | **Paradas**<br>• Parada de Emergência<br>• Falha na Partida<br>• Alta Tensão CA<br>• Temperatura Alta da Água<br>• Nível Baixo do Radiador (alarme)<br>• Baixa Tensão CA<br>• Baixa Pressão de Óleo Lubrificante<br>• Falha do Sensor Magnético<br>• Sobrevelocidade do motor de partida<br>• Sobrecorrente<br>• Sobrevelocidade<br>• Curto-circuito<br>• Queda de freqüência | **Dados do Alternador CA**<br>• Corrente por Fase<br>• Quilowatts<br>• Quilowatt/Hora<br>• Fator de Potência<br>• Voltagem entre Linhas<br>• Voltagem entre a Linha e o Neutro<br>**Dados do Motor**<br>• Voltagem da Bateria<br>• Temperatura do Refrigerante<br>• Horas de Funcionamento do Motor<br>• Contador de Partidas do Motor<br>• Pressão de Óleo<br>• Temperatura do Óleo<br>• RPM |

## CATERPILLAR EMCP II

(**E**lectronic **M**odular **C**ontrol **P**anel)

- Funções de controle automático do motor com segurança programável para baixa pressão de óleo lubrificante, alta temperatura do fluido de arrefecimento, sobre-velocidade, falha na partida e botão de parada de emergência, acompanhados de indicação luminosa por LED´s intermitentes;
- Ciclo de partida ajustável de 1 a 60 segundos;
- Chave de controle do motor (Automático/Manual/Teste);
- Botão de teste do display.
- Tempo de resfriamento do motor ajustável de 0 a 30 minutos;
- Controle energizado para funcionamento ou corte de combustível;
- Visor de Cristal Líquido (LCD) com leitura de pressão de óleo do motor, temperatura do fluido de arrefecimento, rotações por minuto do motor, tensão DC do sistema, horas de operação do motor, códigos de falhas para diagnóstico do sistema, tensão AC, corrente e freqüência no alternador principal;
- Amperímetro e Voltímetro com chave seletora de fases;
- Botão de parada de emergência (de soco, tipo cogumelo);
- Potenciômetro de ajuste de tensão e
- **Gabinete fechado NEMA 1, proteção IP 22**

**CATERPILLAR EMCP II +**

(**E**lectronic **M**odular **C**ontrol **P**anel)

## Indicação Digital (LCD)

- Tensão AC – 3 fases (L-L e L-N);
- Corrente AC (3 fases e total);
- KW (total e por fase);
- KVA (total);
- KVAR (total);
- KWh (total);
- KVARh (total);
- Fator de Potência (médio e por fase);
- % do nominal (total);
- Freqüência
- Tensão DC;
- Temperatura do fluido de arrefecimento;
- Pressão do óleo lubrificante;
- Rotação do motor (rpm);
- Horas de operação e
- Diagnóstico do sistema.

## Indicação luminosa

- Baixa pressão do óleo lubrificante;
- Alta temperatura do fluido de arrefecimento;
- Sobre-velocidade;
- Falha na partida;
- Parada de emergência;
- Parada por defeito;
- Alarme de defeitos;
- 3 lâmpadas de reserva e 4 entradas programáveis pelo cliente para parada ou alarmes.

## Controles

- Partida e parada automática;
- Parada de emergência;
- Teste de lâmpadas
- Ciclo de partida;
- Controle de tensão;
- Tempo de resfriamento;
- Chave seletora de fase;
- Relé de demanda de carga e
- Relé programável sobressalente.

## Proteção

- NEMA 1, IP 22
- Porta/tampa protetora

## Relés de proteção

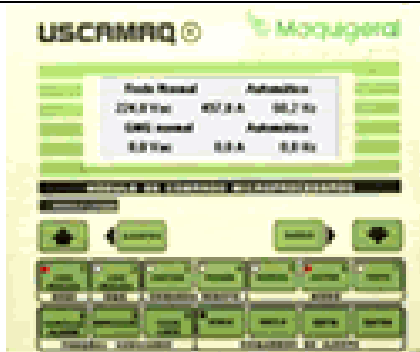
- Relés programáveis:
  - Sobre e sub-tensão;
  - Relé de potência inversa;
  - Sobre e sub-freqüência e
  - Sobre-corrente.

## OPCIONAIS:

### Controles diversos

- Governador eletrônico;
- Controle de rotação Isócrono;
- Divisor de carga (fornecido avulso);
- Módulos de alarme local – (com buzina e botão silenciador);
- Controle de freqüência;
- Alarme comum (contato seco para qualquer tensão);
- Sinal de alternador gerando (contato seco);
- Auxiliar de partida a frio (éter);
- Módulo anunciador de alarme a distância;
- Link de comunicação digital para computador e
- Painel luminoso.

### Proteções

- Baixo nível do fluido de arrefecimento;
- Temperatura do óleo lubrificante.

**USCAMAQ**

**MAQUIGERAL**

Disponível nas versões standard e STR, para transferência de carga em transição fechada em rampa.
A versão standard oferece as funções de USCA microprocessada, é certificada pela Anatel para aplicações em telecomunicações, dotada de interface serial RS-232 e RS-485, protocolo de comunicação aberto e gerenciamento remoto via Internet.

A versão STR tem módulo de comando microprosessado com as funções:

- Transferência em rampa bidirecional sem interrupção das cargas;
- Tempo de transferência entre as fontes menor que 15 segundos;
- Comunicação serial RS-232 e RS-485;
- Supervisão remota através de PC com softwares comerciais;
- Protocolo de comunicação aberto (modbus opcional);
- Controle de demanda;
- Operação automática em picos de demanda (peak shave);
- Freqüência 50/60 Hz e
- Transferência em baixa ou média tensão.

**KOHLER DEC340 DECISION MAKER**

Não tem configuração padronizada. O cliente escolhe o nível de tecnologia que deseja adquirir. Oferece uma família de opções que permite configurar o controle conforme as necessidades da instalação. A partir de um sistema econômico básico até as mais sofisticadas funções de monitoramento à distância, as opções incluem funções para:

- Monitorar as funções do motor e todas as saídas do alternador;
- Armazenar e mostrar o histórico do sistema do grupo gerador;
- Monitorar grupos geradores, chaves de transferência automática e quadros de distribuição remotamente, comunicando-se por meio de software de computador pessoal e
- Rede para até 128 grupos geradores a partir de um sítio de monitoramento.

**SUPERVISIONA:**

- Tensão Alta, Baixa e Falta de fase da rede e do GMG através da leitura do sinal analógico das três fases;
- Freqüência Alta e Baixa do GMG através do sinal de rotação do alternador;
- Sobrecarga através do contato (NA ou NF) de térmico externo;
- Pressão Baixa de óleo lubrificante através de contato (NA ou NF) de pressostato externo;
- Temperatura alta da água de arrefecimento do motor através de contato (NA ou NF) de termostato externo;
- Sobrevelocidade através do sinal de rotação do alternador;
- Falha na partida (motor não parte após numero pré-programado de tentativas de partida);
- Falha na parada (motor não para depois de terminada temporização correspondente);
- Nível anormal de combustível através de contato (NA ou NF) de dispositivo externo.

## Modos de Operação

**OPERAÇÃO AUTOMÁTICA**

**Rede Normal:**

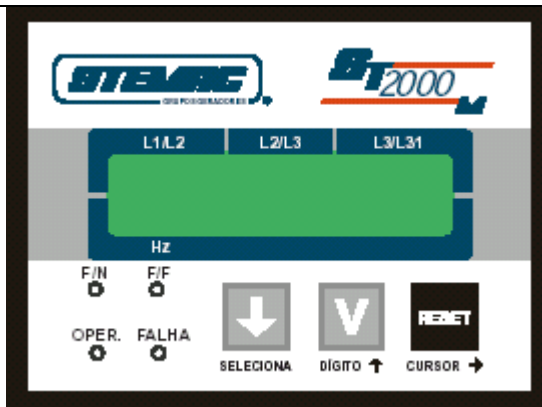
Se o grupo estiver desligado e com a tensão da rede normal, o mesmo permanece desligado sendo ativado o sinal para fechar o contator da rede.

**Rede Anormal:**

Se o grupo já estiver ligado e em carga, ao passar para automático o mesmo permanecerá ligado se a tensão de rede estiver anormal. Caso contrário é desativado o sinal de fechamento do contator do grupo e ativado o sinal de fechamento do contator da rede, o grupo entra na temporização de arrefecimento. Caso a tensão da rede fique fora da faixa permitida, a rede é retirada de carga imediatamente sendo então iniciada uma temporização de Confirmação de rede Anormal (TCRA). Finda esta temporização, é caracterizada a condição de ***REDE ANORMAL***, sendo iniciada a seqüência de partida do grupo. São efetuadas 3 tentativas de partida com intervalo de 15 segundos entre cada tentativa. Caso o grupo não parta, é sinalizado ***USCA ANORMAL***.
Após o grupo partir é iniciada uma temporização de Espera de Estabilização do grupo (TEG).
Ao final desta temporização, o grupo é colocado em carga. Quando a tensão da rede retornar a condição normal, é iniciada uma temporização de Retorno de rede Normal (TRRN).
Finda esta temporização, é transferida a carga do grupo para rede sendo iniciada uma temporização de Arrefecimento do grupo gerador (TARR).
Se durante a temporização de arrefecimento a tensão da rede voltar a ficar anormal, a carga é transferida da rede para o grupo sendo a temporização de arrefecimento cancelada.
Finda a temporização de arrefecimento, o grupo é desligado.
O Smart Gen permite que o operador efetue o ajuste de algumas destas temporizações.
O valor “default“ de cada temporização é mostrado abaixo :
Tempo de Arrefecimento: 180 segundos;
Tempo de Confirmação de Rede Anormal: 5 seg
Tempo de Retorno de Rede Normal: 60 segundos;
Tempo de Estabilização: 30 segundos;
Tempo de Espera de Parada do GMG: 30 segundos;

**OPERAÇÃO MANUAL:**

Ao se ativar o modo de operação manual através do teclado do painel frontal, o Smart Gen entra no processo de espera de comando do operador.
Neste modo de operação o operador tem total controle sobre o sistema, podendo ligar ou desligar o grupo, colocar rede ou GMG em carga.
Os sensores ficam ativos, retirando a rede de carga automaticamente caso esta fique anormal, e desligando o grupo caso este apresente algum defeito.

**Reposição de alarmes:**
Tanto em modo Manual ou Automático, caso aconteça alguma falha grave por ex. temperatura alta, o grupo será desligado.
Para que o grupo possa partir novamente é preciso que a falha tenha sido eliminada, e que o operador pressione a tecla de Reposição de Alarmes, dando assim ciência do ocorrido . A partir deste momento o SmartGen aceitará comando de partida do grupo (modo Manual) ou partirá o grupo automaticamente (modo automático) .

**STEMAC ST2000**
**Opção MANUAL**

Sistema de controle microprocessado para grupos geradores de operação manual, com medições de tensão, corrente e freqüência; proteção contra sobrecorrente com atuação sobre a bobina de disparo do disjuntor principal.

**STEMAC ST2000**
**Opção AUTOMÁTICO**

Disponível nas opções ST2000A, ST2000B, ST2000S, ST2000P e ST2000C. Para aplicações em telecomunicações, a STEMAC oferece a unidade "Stelecom", para atender os requisitos das normas Telebrás.

Na versão ST2000A, encontram-se:

- Supervisão de rede;
- Partida, parada e transferência automática;
- Indicação digital de tensão (L-L e L-N), freqüência, número de partidas, horas de operação, temperatura do fluido de arrefecimento do motor, horas para manutenção e tensão de bateria;
- Proteção contra alta temperatura, baixa pressão de óleo, tensão/freqüência anormais, falha na partida/parada;
- Controle do pré-aquecimento;
- Funcionamento manual/automático/teste e
- Comunicação serial (opcional).

A opção ST2000B, além das funções acima, inclui indicação digital para potência ativa e fator de potência e proteções contra sobrevelocidade, sobrecorrente e sobrecarga.

A opção ST2000S, além das funções encontradas nas anteriores, acrescenta:

- Indicação digital de potência reativa e Watt-hora;
- Proteção contra baixo nível do combustível (opcional);
- Seis entradas/saídas analógicas e digitais configuráveis pelo cliente e comunicação serial opcional.

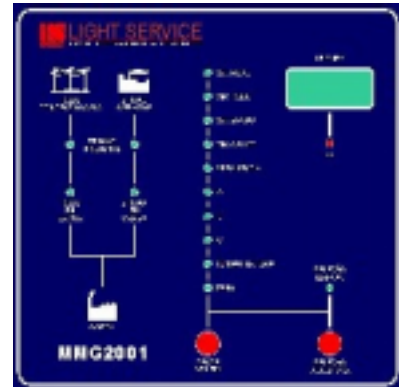
A opção ST2000P tem a mesma configuração da opção ST2000S acrescida das funções de:

- Operação automática em horário de ponta, paralelismo com outras unidades e/ou com a rede;
- Transferência ininterrupta em rampa;
- Controle de demanda (rejeição/inclusão de cargas);
- Operação automática em picos de demanda (peak shave) e
- Regulagem eletrônica digital de velocidade

A opção ST2000C é destinada a sistemas de paralelismo e conta com:

- Funcionamento em manual/automático/teste;
- Operação gerenciada através de PLC mestre para paralelismo com outras unidades, paralelismo com a rede e transferência de carga em rampa (para uma ou mais chaves de transferência e/ou entradas de rede);
- Comunicação serial;
- Controle automático do pré-aquecimento;
- Regulagem eletrônica digital de velocidade e
- Possibilidade de controle de quantidade de grupos e demanda, bem como monitoramento remoto.

**LSM 2001 – LIGHT SERVICE**

**MÓDULO DE SUPERVISÃO LSM2001**

**MÓDULO DIGITAL DE MEDIÇÃO DE GRANDEZAS MMG2001**

Na frontal da USCA existe um módulo de medição com as seguintes funções e comandos:

- Tensão de Linha da Rede.
- Tensão de Linha de Grupo.
- Freqüência do Grupo.
- Corrente de Carga R.S.T.
- Tensão de Bateria.
- Comando Teste de Led's e Display.
- Comando Manual de Seleção de Grandeza.
- Barra mínima para a operação do conjunto contendo:

- Indicação de tensão presente do Grupo.
- Indicação de tensão presente da Rede.
- GMG alimentando.

**BOTOEIRAS:**

- Interruptor geral tipo cogumelo

**SINALIZAÇÕES E COMANDOS:**

O **LSM2001** é um modulo de comando e supervisão frontal a "USCA" que tem como função comandar e supervisionar o Grupo Gerador.

**MENSAGENS VIA TELA DE CRISTAL LÍQUIDO:**

a) Falha Partida.
b) Tensão anormal do Grupo.
c) Pressão Baixa.
d) Temperatura Alta.
e) Sobrevelocidade.
f) Falha na Parada.
g) Fluxo de Água Industrial (opcional).
h) Nível de Água (opcional).
i) Sobrecarga/Sobrecorrente de neutro.
j) Freqüência Anormal do Grupo.
k) Vago.
l) Vago.
**m)** Falha no Retificador.
n) Emergência Acionada.
o) GMG em Automático.
p) GMG em Manual.
q) GMG Operando.
r) GMG em Resfriamento.
s) Relógio.
t) Vago.
u) Indicação de Grupo Parando.
v) Indicação de Troca de Óleo Lubrificante e Filtros do Lubrificante e Combustível (250 hs).
w) Indicação de Troca ou Limpeza do Filtro de Ar (500 hs).
**x)** Potência Inversa.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

- Dimensões................................96 x 96mm
- Alimentação...................... 12 Vcc ou 24 Vcc
- Relógio de tempo real
- Saída a transistor com proteções.
- Entradas OPTO-ACOPLADAS
- Listagem de eventos e alarmes com data e horário
- Conexão externa por meio de conector e pinagem ajustável
- Teclado de contato por membrana
- Frontal em policarbonato
- Display em cristal líquido com:
  - Duas linhas com 16 caracteres cada
  - Display iluminado, verde.

**COMANDOS VIA MÓDULO LSM2001:**

- Partida Manual.
- Parada Manual.
- Reposição de defeitos.
- Silencia Alarme

## RGAM - LOVATO

Controle microprocessado para grupos geradores, produzido pela LOVATO electric – da Itália – e vendido no mercado brasileiro aos diversos montadores que não dispõem de tecnologia própria. É totalmente programável e disponível em 12 ou 24 Volts e em três versões:

- RGAM – Standard;
- RGAM 12RC ou 24RC – Versão com porta serial RS-485, em 12 ou 24 VDC e
- RGAM SW – Versão completa, com microcomputador e software para operação remota através de porta de comunicação RS-232/RS-485 ou modem (comum ou GSM).

Inclui as funções de supervisão de funcionamento do grupo gerador e da rede e nas versões com recursos de comunicação inclui a função Autocall, para serviços de mensagens SMS (Short Message Service) e e-mail via Internet.

Supervisiona as três fases da rede e comanda a partida do grupo gerador e transferência automática de carga em caso de falha da rede.

Leitura digital de tensão, freqüência e corrente da rede e do grupo gerador, tensão da bateria e horas de operação. Dimensões de 144 x 144 mm e peso aproximado de 1,1 kg.

É dotado de controles e alarmes para as seguintes funções:

- Baixa pressão de óleo lubrificante;
- Superaquecimento do motor;
- Baixo nível de combustível;
- Falha na partida;
- Tensão da bateria baixa;
- Tensão da bateria alta;
- Falha no alternador de carga da bateria;
- Falha de tensão do alternador;
- Freqüência do alternador alta;
- Freqüência do alternador baixa;
- Sobrecarga no alternador;
- Falha de parada do motor;
- Parada de emergência;
- Parada inesperada;
- Manutenção requerida;
- Falha no contator/disjuntor principal do alternador e
- Quatro alarmes definidos pelo cliente.

## LEON HEIMER
## DPC-560

Módulo de controle digital para instalação no quadro de comando. Controla partida, parada, transferência e retransferência. Como padrão, é instalado na porta frontal do quadro de comando, onde também se encontra a chave de transferência.

**Tem funções de proteção com sinalização luminosa e alarme contra:**

- Rede anormal;
- Falha de tensão do grupo gerador;
- Pressão de óleo baixa;
- Temperatura alta;
- Sobrecarga;
- Rotação anormal;
- Falha na partida;

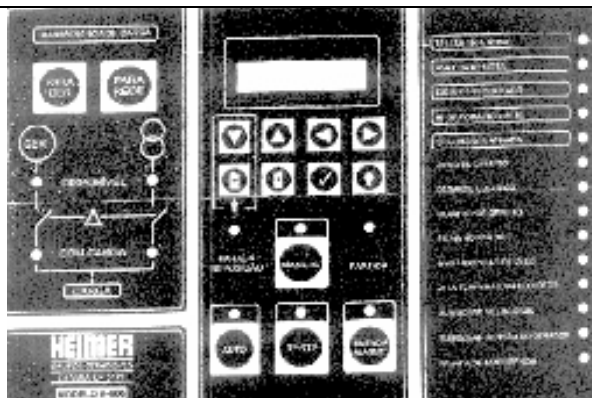
**Avisos luminosos para:**

- Carga de bateria;
- Proteção ativada;
- Grupo gerador operando.

**Comandos externos para:**

- Desligado, automático, manual, partida e reposição (reset).

**Características principais:**

- Alimentação de 12 a 38 VDC;
- Freqüência de operação em 50 ou 60 Hz;
- Consumo de corrente máximo de 200 mA;
- Falha de carga da bateria de 0 a 35 Volts (ajustável via software);
- Entrada de supervisão de freqüência de 10 a 130 VAC;
- Saídas: Coletor aberto de transistor NPN, 100 mA máximo;
- Temperatura de operação de –10 a 60ºC;
- Dimensões: (A x L x P) – 50 x 98 x 130 mm e
- Peso de 0,30 kg.

## LEON HEIMER
## H606
## Quadro de Comando com monitoração à distância.

O módulo de controle H606 tem comandos externos para as funções de PARADA/REPOSIÇÃO, PARTIDA, AUTOMÁTICO, TESTE, e SILENCIA ALARME. Informações de status e defeitos são por meio de um visor de cristal líquido com duas linhas de 21 dígitos, em inglês. Tem indicação luminosa do status dos contatores de rede e grupo, do lado esquerdo, e indicação luminosa de defeitos, do lado direito. Junto ao LCD, abaixo, ficam as teclas de navegação do menu de opões.

Na parte posterior existem 6 (seis) conectores, com um total de 88 pinos para entradas e saídas de sinais. Suas dimensões são de (L x A x P) 298 x 216 x 105 mm. Tem duas entradas RS-232 (uma macho e uma fêmea) para utilização de software de telemetria em microcomputador remoto. Uma saída RS-485, atualmente não utilizável, podendo ser implementada em desenvolvimentos futuros.

**Está dotado das funções e controles abaixo:**

**AVISOS (Condições de alarmes não críticas):**

- Falha de carga da bateria;
- Baixa tensão da bateria;
- Tensão alta da bateria;
- Baixo nível de combustível;
- Nível alto de combustível;
- Circuito aberto do sensor de combustível;
- Falha de carga do gerador (alternador);
- Falha de carga da rede;
- Interruptor de pressão de óleo;
- Entradas auxiliares;

**DESARMES ELÉTRICOS**

- Sobre-corrente no alternador;
- Potência reversa no alternador e
- Entradas auxiliares (configuráveis pelo cliente)

**PARADA DO MOTOR:**

- Falha na partida;
- Parada de emergência;
- Baixa pressão do óleo;
- Alta temperatura da água do motor;
- Sobrevelocidade;
- Subvelocidade;
- Alta freqüência do alternador;
- Baixa freqüência do Alternador;
- Circuito aberto do sensor de pressão de óleo;
- Falta de aterramento do alternador e
- Entradas auxiliares (configuradas pelo cliente).

Para todas as condições de parada acima é possível configurar um pré-alarme, para aviso antes da parada do motor.

O LCD é configurado em páginas selecionáveis por meio das teclas de navegação, podendo-se ter acesso à:

**PÁGINA DE STATUS:**

- É a página padrão e indica, motor operando, controle em automático ou manual, etc.

**PÁGINA DE ALARME:**

- Mostra a natureza de alguma condição de alarme na qual tenha ocorrido, como, por exemplo, parada por baixa pressão de óleo.

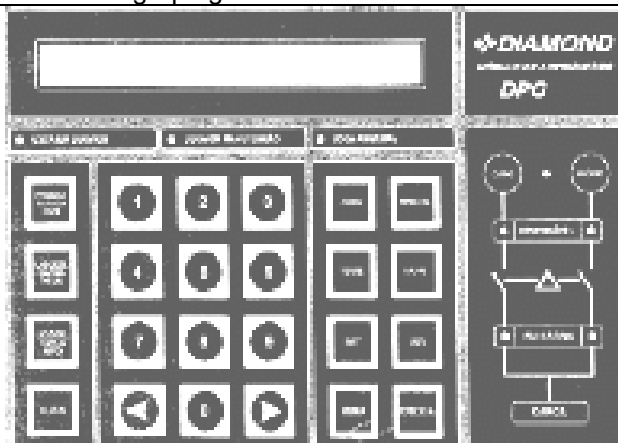
**PÁGINA DE INSTRUMENTAÇÃO:**

- Mostra os vários parâmetros mensuráveis conforme configurado, permitindo ao operador a monitoração da performance do grupo gerador.

**PÁGINA DE EVENTOS:**

- Mostra os eventos registrados, permitindo visualizar o histórico de operação do sistema.

**CONFIGURAÇÃO DAS PÁGINAS:**

- O LCD mostra as várias configurações de páginas usadas para ajustar o módulo. As configurações não podem ser alteradas pelo operador.

**LEON HEIMER**
**DPC-750**

Módulo de controle digital compatível com a prática TELEBRÁS. Dotado de um teclado alfanumérico de 24 teclas e um LCD de duas linhas de 40 dígitos. As mensagens são em português, ao contrário do modelo anterior. Conecta-se ao sistema por meio de 7 conectores padronizados de 8 pinos e não inclui recursos de comunicação.
Além dos itens tradicionais, tais como pressão de óleo, temperatura do motor e parâmetros elétricos de rede e grupo, supervisiona bomba de pré-lubrificação, ventilação da sala, ruptura de correias, fluxo de água industrial, temperatura do alternador, fusíveis principais e secundários de rede e grupo, relé taquimétrico (controle do motor de partida) e bomba d´água do trocador de calor externo.
Permite configuração e calibração de medições pelo operador, via teclado.

**SDMO**

**MICS *Process II***

O controle **MICS *Process II*** é standard na linha POWER 2000 e opcional para as outras linhas de produtos SDMO.

O controle básico inclui as teclas F1 a F6 (esquerda) programáveis de acordo com as necessidades do cliente. O painel de controle é constituído pelas teclas 1 a 13 (centro) com as funções:

1 – Modo Automático
2 – Modo Manual
3 – Modo Fora de Serviço
4 – Partida do Motor
5 – Parada do Motor
6 – Carga de teste
7 – Comando para fechamento do disjuntor principal
8 – Comando para abertura do disjuntor principal
9 – Teste com Carga
10 – Silenciar alarme
11 – Reposição (reset)
12 – Teste dos LED´s
13 – Mostrar eventos no display

O teclado numérico seleciona os parâmetros e as teclas ao lado são de visualização (navegação) do display.

O painel anunciador (direita) tem 12 indicadores luminosos (LED´s) programáveis pelo cliente. O controle é modular, permitindo a adição de duas placas com as funções conforme a seguir:

**Módulo CARNAC – (Opcional):**

**Proteções adicionais:**

- Corrente, tensão, freqüência, potências ativa e reativa, controle de isolação e micro-interrupções (relés de mínima impedância, variação de freqüência e vetor de pulso).

**Comunicações:**

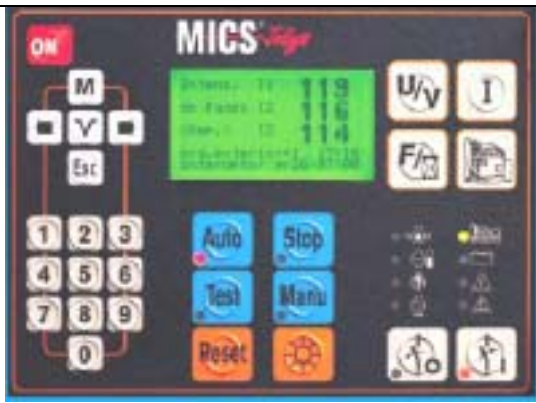
- Barramento de comunicação serial (CAN – Controller Area Network) padrão ISO, protocolo ICs, desenvolvido pela ROBERT BOSCH.

**Módulo CARANTEC – (Opcional):**

**Medição**

- Freqüência, tensão, potência ativa total e por fase, potência reativa total e por fase, fator de potência total e por fase, medição de energia ativa, medição de energia reativa, indicação das defasagens de fases, tensão e freqüência.

**Regulação**

- De tensão, nos alternadores Leroy-Somer, Stamford Newage, AVK, ABB, Siemens, Magnetek e KATO.
- De potência, nos motores equipados com governadores dotados de atuadores MDEC, MDEC III, GAC, Woodward, Barber Colman, Heinzmann, American Bosch, Etc..

**SDMO**

**MICS® TELYS**

Para os grupos geradores de menor porte e potências acima de 40 KVA, a SDMO está oferecendo o controle microprocessado MICS® TELYS, com até 150 parâmetros configuráveis, tensão de 208 a 600 Volts, dotados das funções de supervisão e controle do grupo gerador, porém de construção menos sofisticada e menor custo do que o **MICS *Process II***.

Para os grupos geradores das linhas PACIFIC, MONTANA, ATLANTIC e NEVADA a SDMO oferece os controles M50, M150, S2500, R3000 e A400, cujas figuras podem ser vistas a seguir. São controles opcionais, com funções de supervisão e controle pré-definidas, aplicáveis em função de marca e modelo do motor, a escolha do cliente, conforme suas necessidades. Os modelos M50 e M150 são controles manuais. A partir do controle S2500, a SDMO emprega tecnologia digital e a partida automática é opcional no S2500 e standard nos demais modelos, que podem ser implementados com diversos opcionais, cobrindo todas as necessidades de monitoramento do grupo gerador.

| **M50** | **M150** | **S2500** |
|---|---|---|
|  |  |  |

| **R3000** | **A400** |
|---|---|
|  |  |

Além dos controles vistos anteriormente, a WOODWARD, no decorrer do ano de 2001, disponibilizou para os montadores de grupos geradores a sua nova família de controles digitais que, é de se esperar, irá contribuir para que alguns montadores optem por utilizar estes produtos em detrimento da fabricação própria.

**WOODWARD**

**GCP-11**

Controle digital para unidades isoladas, provê completo controle sobre o motor e alternador bem como controle lógico sobre um contactor principal. Supervisiona partida e parada do motor e protege contra sobrevelocidade, temperatura, pressão, tensão, corrente, freqüência, sobrecarga e outras falhas. Inclui 12 entradas digitais, 2 entradas de sinal do motor, 1 entrada para pick-up magnético e 9 saídas de relé configuráveis pelo cliente.

**WOODWARD**

**GCP-12**

Controle digital para grupos geradores com as mesmas funções do GCP-11, para aplicações em grupos geradores de emergência. Acrescenta as funções de supervisão da rede e controle automático para dois contatores principais (rede e grupo). Além das funções de proteção do GCP-11, monitora tensão e freqüência da rede e do grupo gerador. Inclui 12 entradas digitais, 2 entradas de sinal do motor e 8 saídas de relés configuráveis pelo cliente.

**WOODWARD**

**GCP-20**

Controle digital para grupos geradores de emergência, mas com as funções de atuação sobre o governador de rotações e o regulador de tensão para propiciar transferência de carga sem interrupção entre grupo gerador e rede e vice-versa. Monitora rede e grupo gerador e protege contra falhas de tensão, corrente, freqüência, potência ativa e reversa, desbalanceamento de carga e sobrecarga. Inclui 14 entradas digitais, 4 entradas de sinal do motor, 1 entrada de pick-up magnético e 4 saídas de relé configuráveis pelo cliente. Como opcionais, oferece controle remoto analógico de tensão e freqüência (rotação do motor).

**WOODWARD**

**GCP-21**

Controle digital para grupos geradores com as funções dos modelos anteriores, porém, adicionalmente, com a capacidade operação em paralelo com a concessionária, podendo ser utilizado em aplicações de peak shaving. Inclui proteção de seqüência de fases, um total de 14 entradas digitais, 4 entradas de sinal do motor, 1 entrada de pick-up magnético e 4 saídas de relés configuráveis pelo cliente. Como opcionais, oferece entradas e saídas adicionais, bem como ajuste remoto de tensão e freqüência.

**WOODWARD**

**GCP-22**

Controle digital para grupos geradores, como o modelo GCP-21, porém dotado da capacidade adicional de controlar dois contatores principais, detecção de falha da concessionária e controle de chave de transferência automática. Inclui também a capacidade de transferência com transição fechada em rampa.

**WOODWARD**

**GCP-31 e GCP-32**

É o controle eletrônico digital mais poderoso da família GCP Woodward. As unidades GCP-31 e GCP-32 são similares aos controles GCP-21 e GCP-22, porém com a adição das funções de divisor de carga, capacidade de alimentação de reativos e para operação de unidades múltiplas, em paralelo. Também adicionam um sincronoscópio no painel frontal. Como padrão, disponibilizam 16 entradas digitais, 7 entradas de sinal do motor ou alternador, 1 entrada de pick-up magnético e 7 saídas de relés configuráveis pelo cliente. Opcionalmente, pode incluir entradas e saídas adicionais, ajustes remotos, grupo gerador remoto e ajustes analógicos de tensão e freqüência remotos. Também disponível relógio em tempo real e histórico de eventos.

**WOODWARD**

**Relés multifunção MFR-1**

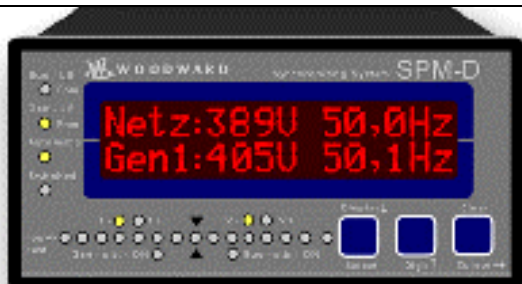
Uma família composta por 5 modelos de relés com as funções de proteção de rede e geração distribuída. Cada um dos 5 modelos disponíveis protege contra determinada falha, monitora e exibe os sinais de corrente alternada da rede ou do grupo gerador. Inclui um relé de alarme ANSI 74, 3 saídas de contatos secos e são facilmente configuráveis via interface RS-232.

O modelo MFR-13/GP protege o grupo gerador contra sub e sobre-tensão, sub e sobre-freqüência, potência inversa, sobrecarga, desbalanceamento de carga, perda de excitação, fator de potência e sobre-corrente independente de tempo.

O modelo MFR-15/SYN oferece proteção similar ao modelo MFR-13/GP, mas adiciona controles de sincronização para atuar um contactor nos casos de potência ativa, fator de potência e divisão de cargas ativa e reativa. Tem ponto de ajuste externo e 3 saídas analógicas configuráveis.

Modelo MFR-12/CP – proteção para o alternador contra sobre-corrente independente de tempo, corrente de tempo inverso e falta de terra calculada.

Modelo MFR-11/MP – Proteção da rede contra sub e sobre-tensão, sub e sobre-freqüência falta assimétrica de fase.

Modelo MFR-11/G59 – inclui as proteções do modelo MFR-11/MP e adiciona proteção de seqüência de fase.

**WOODWARD**

**SPM-D**

**SINCRONIZADOR DIGITAL**

O sincronizador incorpora controle lógico para um contator, exibição de dados de corrente alternada no painel frontal, um teclado do usuário, um sincronoscópio interno e configuração via interface RS-232. Também tem proteção da concessionária para sub e sobre-corrente, sub e sobre-freqüência e seqüência de fases. Proteção do alternador para sobre e sub-tensão, sobre e sub-freqüência, sobrecarga, potência inversa e carga reduzida.

**WOODWARD**
**EGCP-2 e EGCP-3**
**(Engine Generator Control Package)**
**CONTROLADOR DIGITAL PARA GRUPOS GERADORES**

O EGCP-2 é um controlador digital para grupos geradores feito para trabalhar com um regulador de tensão de ajuste remoto e um regulador de velocidade Woodward. Disponível para geradores que operem com motores Diesel ou gás. Executa controle do motor, sincronização do grupo, seqüenciamento automático, controle de carga ativa real (kW), controle de carga reativa (KVAr), proteção do gerador, proteção do motor e comunicação serial Modbus.

**Controle do Motor**

- Controle para pré-aquecimento do motor;
- Controle da válvula de combustível;
- Controle de partida;
- Controle de marcha lenta/nominal;
- Monitoração de pressão de óleo;
- Monitoração da temperatura da água de refrigeração;
- Monitoração da tensão da bateria e
- Monitoração da proteção de sobre-velocidade.

**Sincronismo**

- Processamento digital dos sinais imune à interferência de harmônicos, ajuste de fase de tensão e de tempo de sincronismo;
- Identificação de barra desenergizada e sincronismo automático;
- Sincronização com outros geradores e com a concessionária;
- Programação de várias tentativas de sincronismo com tempo ajustável e
- Operação manual com ajuste de tensão e velocidade para sincronismo.

**Controle de Potência Ativa (kW)**

- Cálculo de potência real (RMS);
- Rampa de tomada e retirada de carga programável;
- Operação em isócrono ou base de carga com até 8 geradores em paralelo dividindo carga;
- Controle em base de carga com máxima eficiência de controle de combustível;
- Controle em base de importação e exportação para operação em paralelo com a concessionária;
- Transferência de carga suave e sem interrupção com a concessionária;
- Possibilidade de ajuste externo para operação em carga de base ou controle de processo com taxas de variação independentes e
- Operação em *droop* disponível para operação e controle de carga manual.

**Controle de Potência Reativa (KVAr)**

- Divisão de carga reativa emtre os gerradores para operação isolada;
- Controle de fator de potência através da referência interna e
- Controle de potência reativa ajustável através de sinal externo.

**Seqüência automática de partida**

- Partida automática baseada na demanda de carga ou processo;
- Configuração de partida e parada conforme necessidade de carga temporizada e
- Seqüência de prioridade de geradores configurável via painel do EGCP ou remotamente por computador PC.

**Proteção do gerador**

- Proteção de subtensão (27);
- Proteção de sobretensão (59);
- Proteção de sub e sobrefreqüência (81);
- Proteção de potência reversa (32P);
- Proteção de perda de excitação;
- Proteção de sobrecorrente;
- Proteção de perda da concessionária;
- Proteção de escorregamento de velocidade e freqüência e
- Proteção de surto de potência no gerador

**Proteção do Motor**

- Proteção de baixa e alta temperatura da água de refrigeração;
- Proteção de baixa e alta pressão do óleo;
- Proteção de sobrevelocidade e
- Proteção de falha na partida.

**Comunicação**

- Protocolo aberto ModBus ou DDE comunicação através de porta serial padrão RS-422 e
- Rede de comunicação remota de *upload*/*download* via computador PC interface programável.

# CHAVES DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA

## Sistemas de Baixa Tensão

Toda instalação onde se utiliza o grupo gerador como fonte alternativa de energia necessita, obrigatoriamente, de uma chave reversora ou comutadora de fonte. Somente nos casos onde o grupo gerador é utilizado como fonte única de energia, pode-se prescindir da utilização deste dispositivo. Tem a finalidade de comutar as fontes de alimentação dos circuitos consumidores, separando-as sem a possibilidade de ligação simultânea. Para isso, as chaves comutadoras de fonte são construídas de diversas formas e dotadas de recursos que vão desde o tipo faca, manual, até as mais sofisticadas construções com controles eletrônicos digitais, comandos e sinalizações locais e remotas, passando pelos tipos de estado sólido, de ação ultra-rápida.

A concepção mais simples de chave reversora seria o contato reversível, conhecido como SPDT (Single Pole Double Trhrow) utilizado nos relés. Nos grupos geradores, a chave reversora, geralmente, é de três pólos (nos grupos geradores trifásicos). A opção manual, tipo faca, aberta, fabricada para operação sem carga, ainda encontra aplicações, seguindo-se os modelos para montagem em painel e as de acionamento elétrico, automáticas, constituídas por pares de contatores ou disjuntores motorizados com comandos à distância para abertura e fechamento.

As chaves reversoras com comandos elétricos, na sua extensa maioria, são constituídas por pares de contatores ou disjuntores motorizados. As chaves dedicadas, isto é, construídas com a finalidade específica de efetuar a comutação das fontes, não são muito conhecidas, especialmente no Brasil, onde não há fabricante que ofereça esta opção aos montadores de grupos geradores.

A não utilização da chave reversora pode causar sérios riscos às instalações e às pessoas, da seguinte forma:

a) Queima de equipamentos, no momento do retorno da energia fornecida pela concessionária, caso o grupo gerador esteja funcionando sem chave reversora e o disjuntor geral encontrar-se INDEVIDAMENTE ligado;

b) Riscos para as pessoas e possibilidades de incêndios provocados por descargas elétricas sobre materiais combustíveis, como conseqüência do evento citado no item anterior;

c) Energização indevida da rede elétrica da concessionária, podendo vitimar eletricistas que estejam trabalhando na rede ou no quadro de medição;

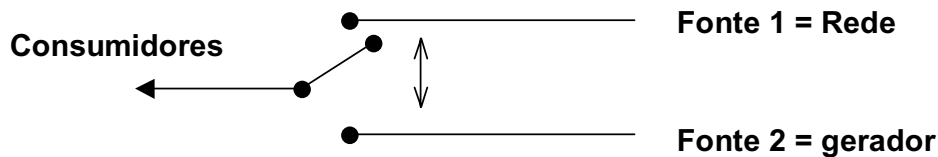
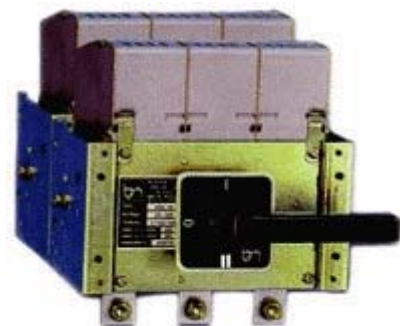
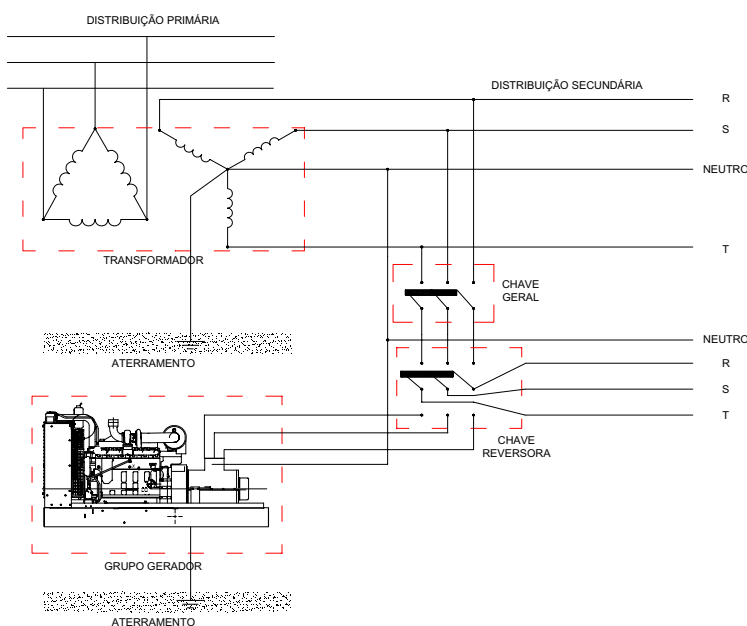
d) O acionamento da chave reversora (se manual) somente deve acontecer com os equipamentos desligados (sem carga).

Todas as concessionárias de energia exigem que as chaves reversoras sejam dotadas de intertravamento mecânico. Adicionalmente, nas chaves com acionamento elétrico, são utilizados contatos auxiliares para fazer o intertravamento elétrico.

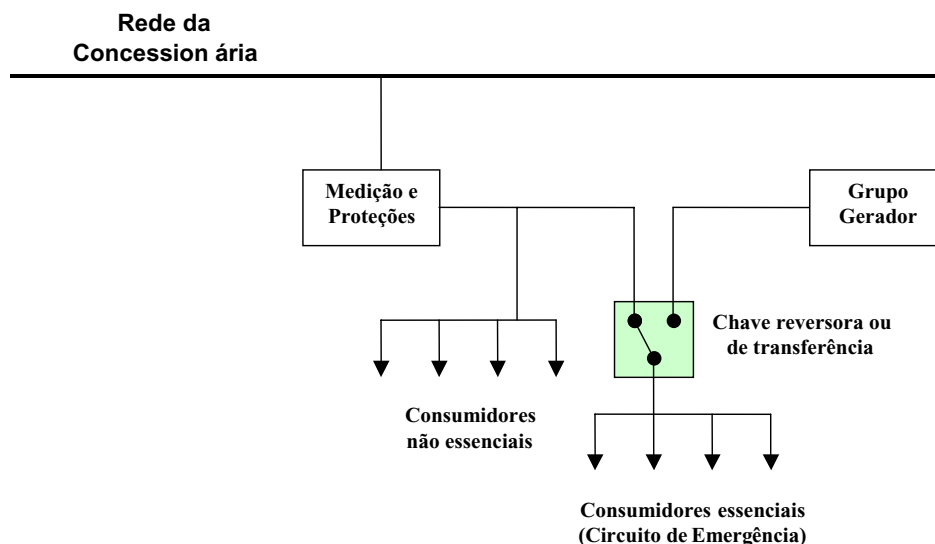
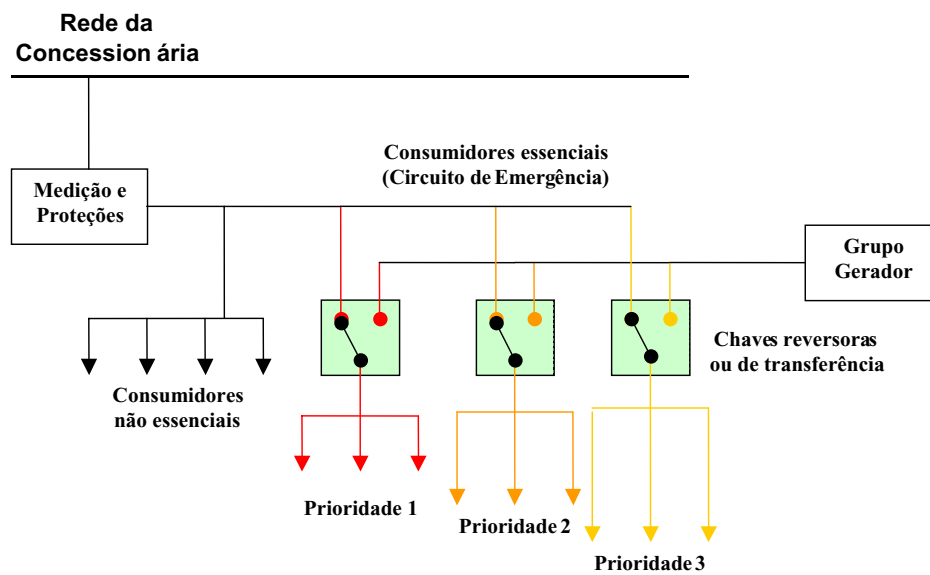
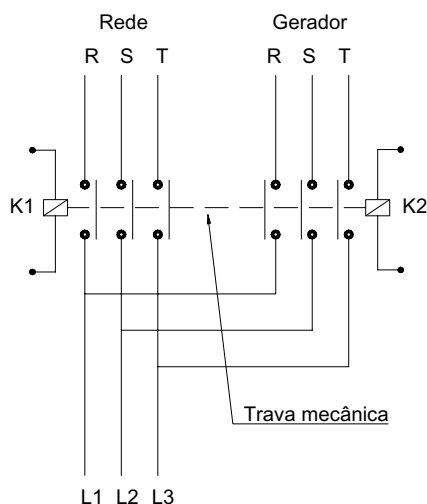
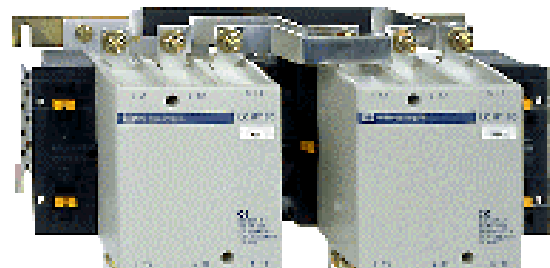
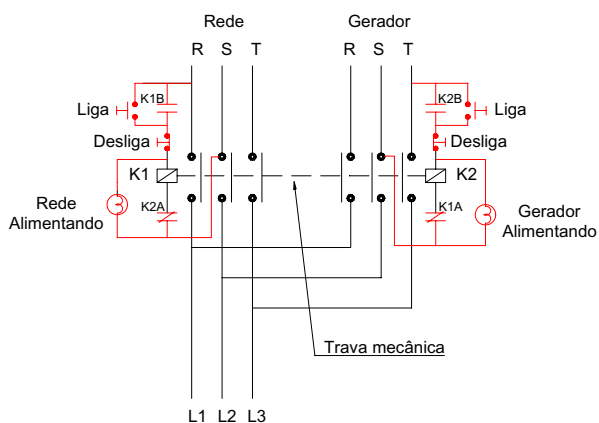
Para os sistemas com reversão de carga em transição fechada (em paralelo com a rede) há exigências específicas que devem ser atendidas, conforme estabelecido nos contratos de fornecimento e de uso e conexão, firmados entre as concessionárias e as unidades consumidoras.

As concessionárias de energia determinam que os circuitos de emergência supridos por grupos geradores devem ser instalados independentemente dos demais circuitos, em eletrodutos exclusivos. Não é permitida qualquer interligação destes circuitos com a rede

alimentada pela concessionária. Os grupos geradores devem ser localizados em áreas arejadas, protegidos de intempéries e isolados do contato com pessoas leigas, principalmente crianças. Recomendam, ainda, a observância às normas técnicas, em especial a NBR-5410 da ABNT, em conformidade com o Decreto 41019 de 26/02/57 do Ministério das Minas e Energia e resolução Nº 456 da ANEEL sobre as condições gerais de fornecimento de energia.

O conceito básico é:

Abaixo, um diagrama típico de instalação do grupo gerador:

**Chave reversora manual de três posições:**

0 = (Centro) desligada
I = Fonte 1
II = Fonte 2

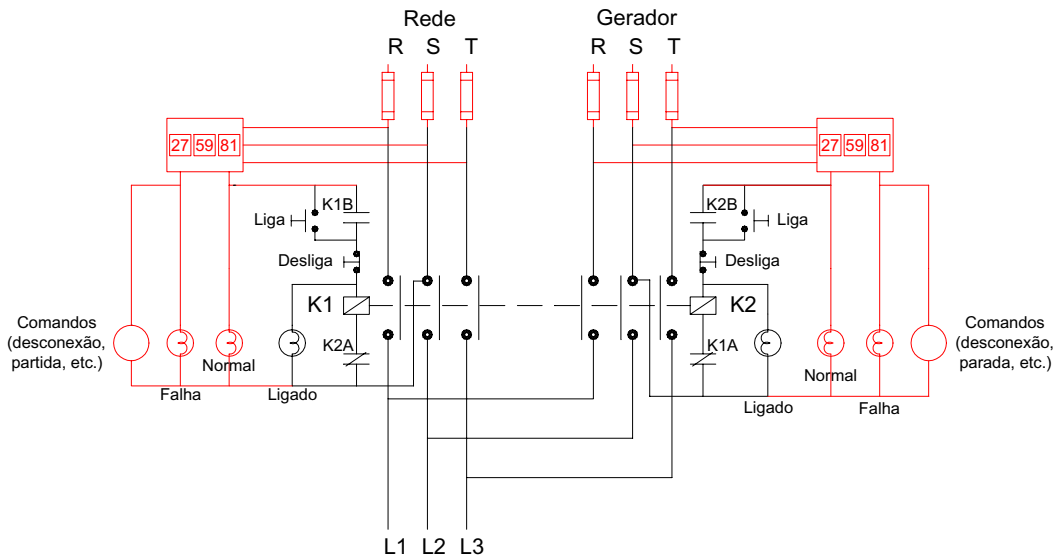
Na maioria das aplicações, o grupo gerador é utilizado como fonte de emergência para atender apenas cargas essenciais, casos em que há um circuito de emergência em separado dos consumidores não essenciais:

Também podemos dividir o circuito de emergência, de forma que, havendo disponibilidade de energia da fonte de emergência, estabelecemos prioridades para os circuitos alimentados.

Usualmente, adota-se como base do sistema de transferência a solução do par de contatores montados lado a lado:

Sistema desenergizado, contatores abertos.

A trava mecânica impede que os dois contatores possam ser fechados simultaneamente. Além disso, as bobinas dos contatores K1 e K2 são intertravadas eletricamente por meio de contatos ou relés auxiliares, de forma que impossibilite a alimentação de uma se a outra estiver energizada. Adicionalmente, podemos acrescentar lâmpadas de sinalização para indicar o estado da chave de transferência:

Nos sistemas automáticos, as funções liga e desliga rede e gerador são executadas por contatos de relés comandados pelo sistema de controle.

Na entrada do grupo gerador é indispensável um meio de desconexão e proteções contra curto-circuito. As empresas de telecomunicações exigem que, tanto o lado da rede quanto o do grupo gerador sejam protegidos com blocos de fusíveis de ação retardada. Os disjuntores termomagnéticos, quando utilizados, devem ter tempo de desconexão de 5 Hz, ou seja, cerca de 80 ms.

Para tornar o sistema automático, devemos acrescentar um dispositivo sensor da rede, capaz de perceber as falhas de tensão ou freqüência e fechar um contato para comando da partida do grupo gerador. Este(s) sensor(es) deve(m) ter seus parâmetros ajustáveis, incluindo um tempo de confirmação da falha, para evitar partidas do grupo gerador em decorrência de picos instantâneos de tensão. Deve monitorar o retorno da rede à normalidade e acionar um contato para retransferência da carga, devendo, a partir daí, o sistema de controle permitir o funcionamento do grupo gerador em vazio para resfriamento, antes de acionar o dispositivo de parada. Quando não incluídos no sistema de controle, sensores de tensão e freqüência para o grupo gerador também devem ser previstos. O monitoramento ideal é sobre as três fases, sendo freqüente o uso de sensores monofásicos no lado do grupo gerador, principalmente. Em geral, ajusta-se os sensores para variações de 20% de tensão e 5% de freqüência, para mais ou para menos, e um tempo de confirmação de dois a cinco segundos.

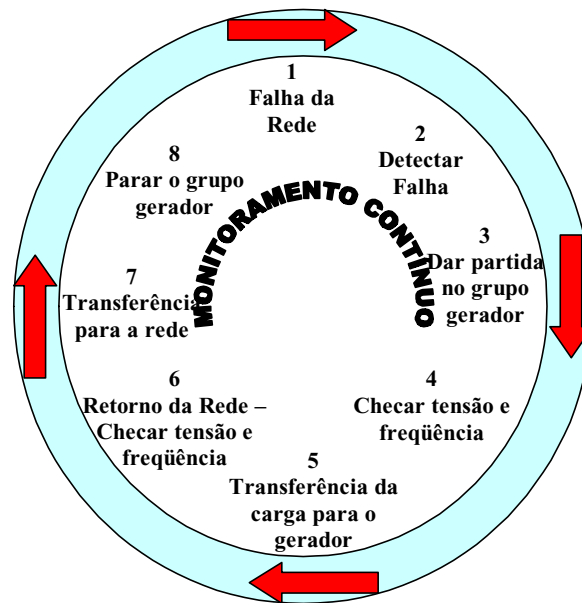
Por definição, os sensores de tensão e freqüência executam as seguintes funções de relés ANSI:

| N° ANSI | Função |
|---|---|
| 27 | Subtensão. Relé que atua quando a sua tensão de entrada é inferior a um valor predeterminado. |
| 59 | Sobretensão. Relé que atua quando a sua tensão de entrada for maior que um valor predeterminado. |
| 81 | Relé de freqüência. Dispositivo que opera quando a freqüência (ou sua taxa de variação) está fora de limites determinados. |

A maioria dos fornecedores de grupos geradores utiliza estes dispositivos como parte integrante dos seus sistemas de controle ou USCA´s, de fabricação própria. No mercado, podem ser encontrados diversos fornecedores destes dispositivos, tanto analógicos quanto digitais, alguns dotados de múltiplas funções integradas.

Eventualmente, a função 81 poderá não ser utilizada para a rede, baseando-se no pressuposto de que não ocorrem variações de freqüência da rede. Entretanto, dependendo do local da instalação, estas variações podem ocorrer.

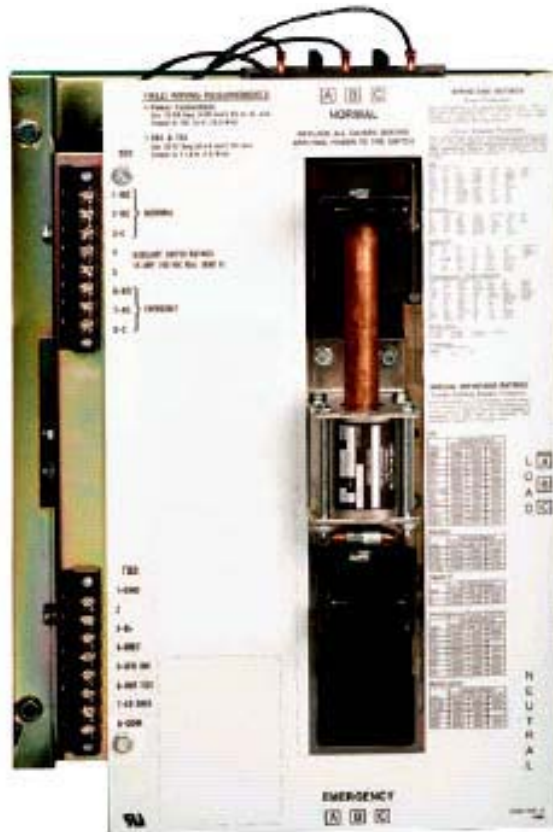
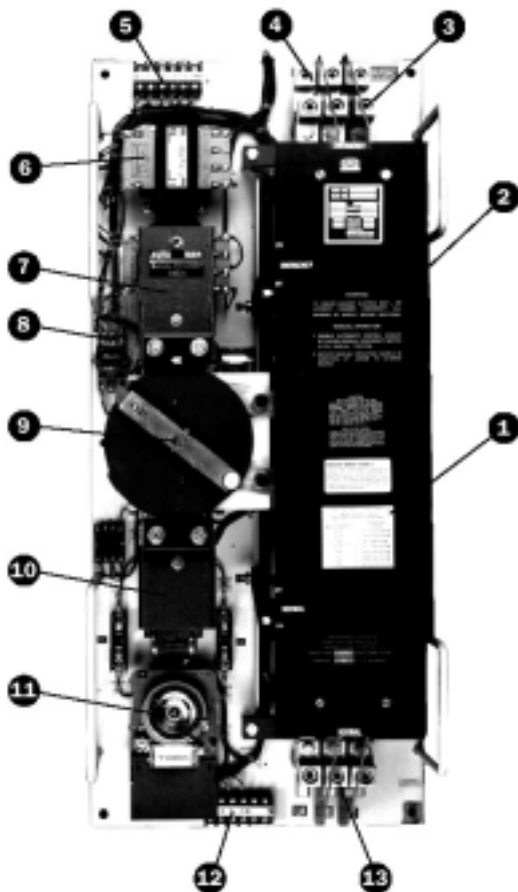
Em muitas aplicações, são utilizados disjuntores com comandos motorizados em substituição aos contatores. Alguns fornecedores disponibilizam conjuntos montados, com opção de adição de componentes definidos pelo cliente.

| | **Acessórios** | |
|---|---|---|
| | **EXECUÇÃO FIXA:** | **EXECUÇÃO EXTRAÍVEL:** |
| | **INCLUSOS NO MODELO BÁSICO**<br>• Alavanca de Carregamento manual das molas.<br>• Botão mecânico de fechamento.<br>• Botão mecânico de desligamento.<br>• Indicador mecânico de molas carregadas.<br>• Relé de fechamento.<br>• Relé de abertura.<br>• Motor elétrico com redutor para carregar as molas de fechamento.<br>• Micro-switch para telessinalizar o carregamento das molas de abertura.<br>• Contatos auxiliares.<br>• Bloqueio da chave até que o defeito seja sanado, só podendo voltar a operar assim que seja dado o RESET manual.<br>• Dispositivo eletrônico de retardo (200 ms).<br>• Relé antibombeamento.<br>**OPCIONAIS OFERECIDOS A PEDIDO**<br>• Relé de subtensão.<br>• Bloqueio mecânico tipo Yale e cadeado.<br>• Bloqueio da chave até que o defeito seja sanado, só podendo voltar a operar assim que seja dado RESET elétrico.<br>• Contador mecânico de manobra.<br>• Proteção à terra – 51N – Ground Sensor. | **INCLUSOS:**<br>• Prolongador dos trilhos para a extração dos disjuntores.<br>• Alavanca suplementar para extração do disjuntor.<br>**OPCIONAL (A PEDIDO):**<br>• Indicador elétrico de posição do disjuntor (inserido, teste e extraído). |

## FUNÇÕES DO SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA

Nos controles digitais, estas funções inclusas e apenas os pontos de ligação dos contatos de comando são acessíveis.

Considerando a possibilidade de manutenção ou reparos no sistema de transferência, é conveniente a instalação também de uma chave de bypass. Esta chave, permite que as cargas sejam alimentadas diretamente pela rede ou pelo grupo gerador, sem utilizar a chave de transferência, permitindo que esta possa ser desativada temporariamente ou removida para reparos. A utilização deste componente requer detalhamento do projeto junto ao usuário para definir a seqüência de operação desejada, a fim de eliminar os riscos de paralelismo acidental das fontes. É possível estabelecer o bypass só para a rede, para o grupo gerador ou para ambos alternativamente, dependendo da configuração desejada. No caso das chaves dedicadas, o bypass pode ser com ou sem interrupção da alimentação das cargas de emergência. Alguns fornecedores disponibilizam este item como opcional.

## CHAVES DEDICADAS

Entende-se como chaves de transferência dedicadas àquelas construídas especificamente para comutação entre duas fontes de energia, diferentemente da concepção anterior com base em contatores ou disjuntores. Basicamente, é um mecanismo que combina as ações de massa e campo magnético para impulsionar os contatos no sentido de uma das fontes ao mesmo tempo em que desconecta a outra, sem possibilidade de paralelismo acidental. As concepções utilizadas variam de um para outro fabricante. A Cummins Power Generation, uma das mais conceituadas marcas, utiliza um atuador linear bi-direcional para a mudança de contatos entre as fontes, além de prever o intertravamento elétrico dos comandos e oferecer diversos recursos de supervisão e controle microprocessados.

A Hubbell oferece um tipo de chave dedicada similar, porém com o mecanismo de acionamento diferente.

1. – Contatos da entrada de rede
2. – Contatos da entrada de grupo gerador;
3. – Terminais de ligação da entrada de gerador;
4. – Terminais de saída para a carga;
5. – Conexões de campo;
6. – Controle de transferência;
7. – Contatos auxiliares de grupo gerador;
8. – Relé de controle de transferência;
9. – Conjunto de acionamento;
10. – Contatos auxiliares de rede;
11. – Dispositivo de teste (opcional);
12. – Conexões de campo;
13. – Terminais de entrada da rede

## PROBLEMAS DA TRANSFERÊNCIA

Cada circuito consumidor tem características próprias, resultantes dos dispositivos alimentados. Um edifício comercial difere fundamentalmente de uma indústria com a mesma capacidade instalada. Enquanto no edifício predominam cargas de iluminação, elevadores, pequenos no-breaks, computadores e ar condicionado, na indústria a carga predominante, provavelmente, será de motores elétricos.

Quando ocorre uma falta de energia, o grupo gerador de emergência dotado de sistema de transferência automática é acionado e no intervalo médio de 10 a 15 segundos assume as cargas. Este intervalo é suficiente para que os motores em funcionamento parem de girar e todos os circuitos se desenergizem. Entretanto, quando do retorno da concessionária, o sistema aciona o desligamento do gerador e o ligamento da rede, um após o outro, num intervalo médio de 100 a 200 ms. Isto faz com que, ao ser religada a rede, os motores, por inércia, ainda estão girando praticamente na mesma rotação. O mesmo ciclo acontece nas transferências onde se utilizam grupos geradores nos horários de ponta, quando no início se transfere a carga da rede para o gerador e no final, quando ocorre a transferência inversa. Os motores em movimento, sem receber energia, geram tensão que percorre o circuito em sentido inverso, no intervalo de transferência, que irá se contrapor à fornecida pela fonte que assume a carga, produzindo um surto capaz de trazer perturbações e queima de equipamentos. Quando há este tipo de problema, a solução é fazer a transferência num intervalo de tempo programado, desligando-se uma fonte e aguardando um tempo suficiente para que todos os motores parem, antes de efetuar o ligamento da fonte substituta. A isto, habitualmente chamamos de transferência com transição programada.

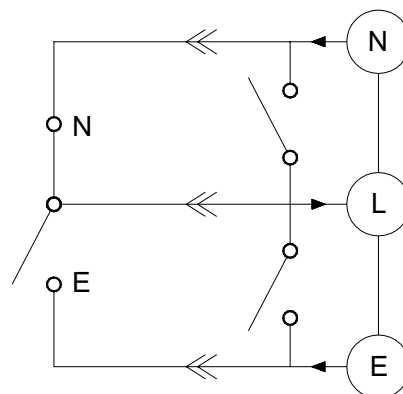
Para os edifícios comerciais com muitos elevadores, uma alternativa freqüentemente adotada é incluir no sistema um relé programado para fechar um contato durante o tempo suficiente para que todos os elevadores sejam desligados no andar térreo (ou no mais próximo de onde se encontram), permanecendo desligados até que a transferência se realize. Esta providência é interessante porque, no caso da transferência da rede para o gerador, permite que os elevadores sejam acionados um após o outro, reduzindo assim o surto de corrente de partida que ocorreria com a partida simultânea de todos os elevadores ao mesmo tempo. Esta função é um item opcional nas chaves Cummins Power Generation.

Uma outra forma de efetuar a transferência sem perturbações é a transição fechada, em paralelo com a concessionária, que pode ser instantânea ou com rampa de carga. Para adotar esta solução, é necessário consultar a concessionária e, conforme o caso, aditar o contrato de conexão e uso, para prever esta função. É a forma mais conveniente para quem utiliza grupos geradores para geração nos horários de ponta.

A transferência instantânea significa aplicação de carga brusca e a rampa de carga só pode ser utilizada nas transferências com as duas fontes presentes e normais. No caso de uma falta de energia, a entrada do grupo gerador na condição de emergência é feita em barramento morto, assumindo todas as cargas que estiverem ligadas, instantaneamente.

Existem chaves que efetuam a transferência em transição fechada com um tempo de paralelismo menor do que 5 graus elétricos (0,00023 seg). Como as proteções normalmente exigidas pelas concessionárias têm tempos de atuação de 100 ms, estas se tornam desnecessárias, porém, podem ser exigidas, a seu critério, por condições contratuais.

Chave de transferência automática ASCO série 7000 microprocessada e com bypass de isolação, montagem extraível.

Transferência em transição fechada dentro do intervalo de 5 graus elétricos.

Podem ser exigidas as seguintes proteções ANSI, além de outras consideradas desejáveis pela concessionária:

| Nº ANSI | FUNÇÃO |
|---|---|
| 27 | Relé de Subtensão – Relé que atua quando a sua tensão de entrada é menor do que um valor predeterminado |
| 32 | Relé Direcional de Potência – Relé que atua quando um fluxo de potência circula no sentido contrário ao predeterminado. |
| 47 | Relé de Seqüência de Fase de Tensão – Relé que atua para um valor de tensão polifásica na seqüência de fase estabelecida. |
| 59 | Relé de Sobretensão – Relé que atua quando sua tensão de entrada for maior do que um valor predeterminado. |
| 81 | Relé de freqüência – Dispositivo que opera quando a freqüência (ou taxa de variação) está fora de limites predeterminados. |

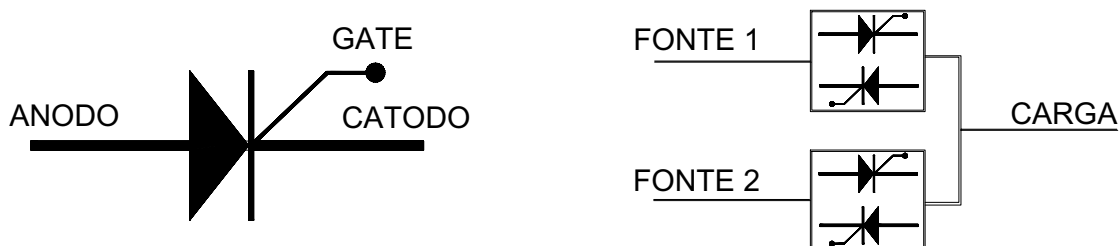
Os contatores ou disjuntores recebem a designação ANSI 52 – Disjuntor de Corrente Alternada = Dispositivo de manobra e proteção capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes alternadas em condições normais do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes alternadas em condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-circuito.

## CHAVES ESTÁTICAS

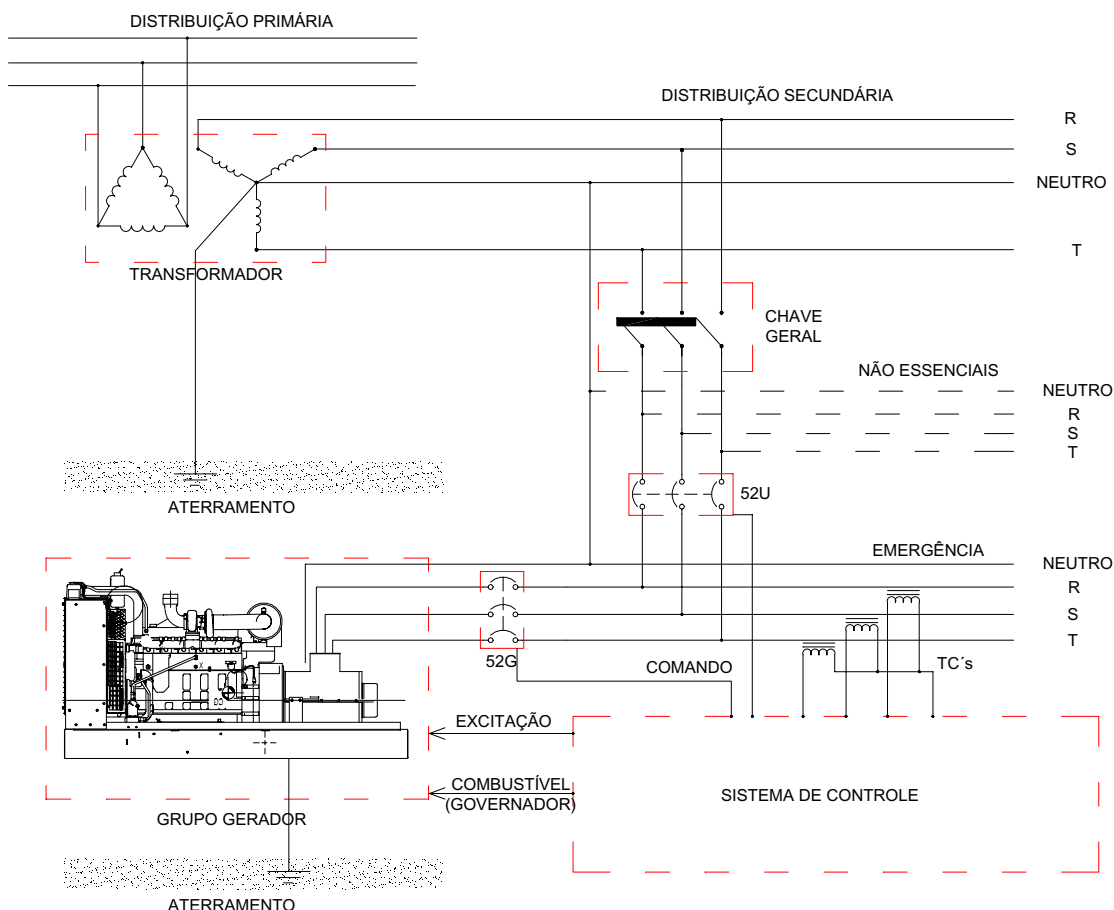
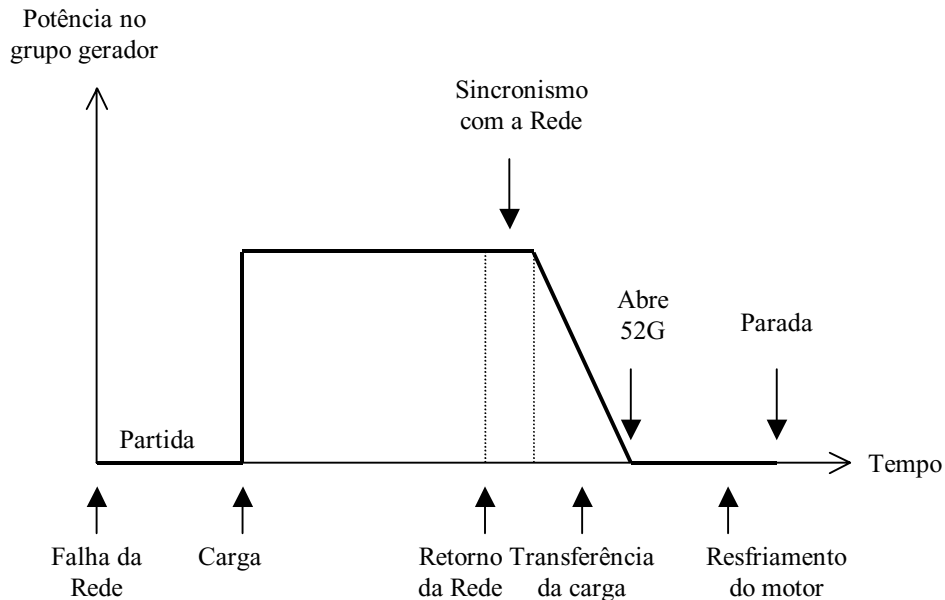
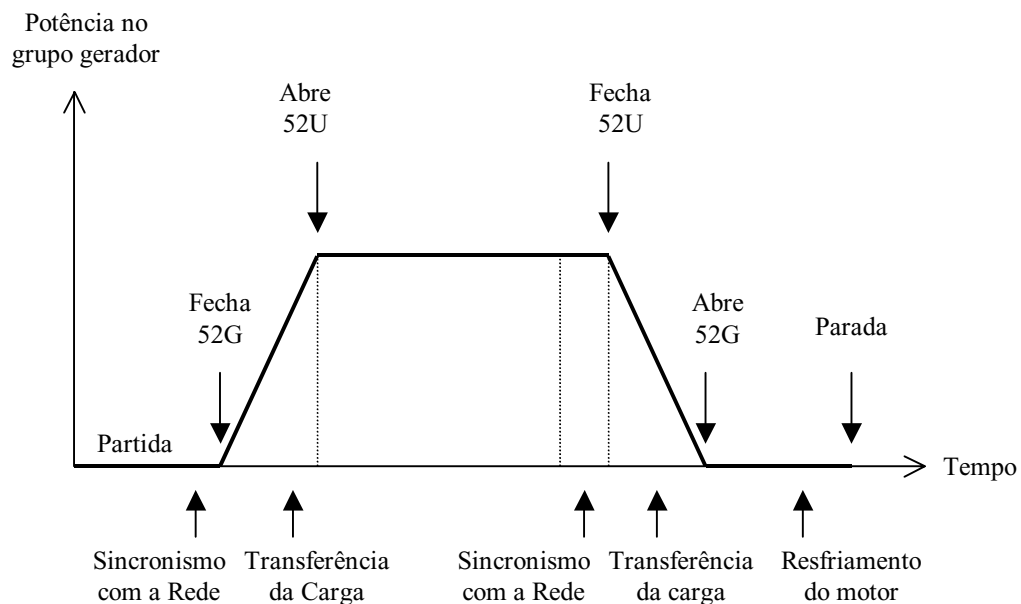
Resultado da tecnologia dos semicondutores, atualmente são comercializadas chaves de transferência sem contatos móveis, baseadas em retificadores controlados de silício (SCR).

São utilizadas, principalmente, nos sistemas UPS (Uninterruptible Power Suppliers) ou no-breaks estáticos e atualmente começam a encontrar aplicações nas instalações de grupos geradores. A transferência com chave estática ocorre em transição aberta, isto é com

interrupção de 2 a 4 ms. Esta interrupção é imperceptível e não detectada pelos equipamentos consumidores.

O SCR é um diodo que opera como um circuito aberto quando nenhuma corrente é aplicada ao GATE. Um sinal aplicado ao GATE fecha o circuito e faz com que ele se mantenha fechado, conduzindo do ANODO para o CATODO, enquanto permanecer o sinal. Uma vez removido o sinal, ele irá parar de conduzir quando a corrente circulante atingir o valor zero. Usando esta propriedade, é possível construir um sistema com controle eletrônico gerando o sinal para o gate e montar uma chave comutadora de fontes onde é possível determinar o momento em que uma ou outra fonte será ativada ou desativada.

Sistemas microprocessados adicionados aos controles adotados, implementam a utilização desta solução. Entretanto, neste tipo de transferência a carga é aplicada subitamente, na sua totalidade, ao grupo gerador.

## TRANSFERÊNCIA COM RAMPA DE CARGA

É feita na condição de transição fechada, em paralelo com a rede, durante um tempo programado. O sistema de transferência necessita monitorar, por meio de transformadores de corrente, a energia circulante e atuar sobre o sistema de combustível do motor. Sua utilização requer proteções definidas pela concessionária local.

A transferência com rampa de carga é feita sincronizando o grupo gerador com a rede e, em seguida, comandando o fechamento das chaves de paralelismo (52). O paralelismo, feito por um sincronizador automático, controla tensão e freqüência do grupo gerador e verifica a seqüência de fases. No caso de falha da rede e entrada do grupo gerador na condição de emergência, teríamos a seqüência:

No caso da partida do grupo gerador com a rede presente (horário de ponta):

O sistema deve supervisionar o fluxo de corrente e manter a dosagem do combustível para que, no momento do fechamento de 52G o grupo gerador não entre em carga nem seja motorizado pela rede. Uma vez fechado 52G, tem início o processo de transferência de carga numa taxa programada com incremento em kW por segundo e o limite não pode exceder a potência do grupo gerador.

Em geral, o mesmo sistema pode ser utilizado para suprimento de energia em regime de peak shaving. Isto é, o grupo gerador permanece em paralelo com a rede suprindo a energia que exceder à demanda prefixada para a rede. As configurações de operação são oferecidas em diversas modalidades e praticamente todos os fornecedores atualmente dispõem de sistemas digitais que podem ser configurados para atender às necessidades do cliente.

O grupo gerador poderá também ser utilizado em paralelo com a rede para geração de potência reativa (KVAr). Neste caso, o sistema de controle deverá ser programado para operar sob fator de potência constante e fazer variar a excitação do alternador, gerando mais ou menos potência reativa. Para a geração de potência ativa o sistema atua sobre o governador de rotações, fornecendo mais ou menos combustível, mantendo a rotação constante e variando a quantidade de kW fornecidos às cargas.